DESCRIPTION DES SITES REPÈRES

17-QU & 18-QU

PROGRAMME D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES SOLS

631.47714
D449
1995
c. 3

for a sustainable agriculture
pour une agriculture durable

Agriculture Canada
Research Branch
Direction générale de la recherche

Canada

CANADIAN AGRICULTURE LIBRARY
AGRICULTURE AND
AGRI-FOOD CANADA
CENTRAL LIBRARY
BIBLIOTHEQUE CENTRALE
EDIFICE SIR JOHN CARLING BLDG.
OTTAWA, ONTARIO
CANADA K1A 0C5
BIBLIOTHEQUE CANADIENNE DE L'AGRICULTURE

DESCRIPTION DES SITES REPÈRES
17-QU & 18-QU

Rapport # 1

DONNÉES DE BASE

PROGRAMME D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES SOLS

M.C. Nolin, C. Wang, M.J. Deschênes et C. Lévesque

Centre de recherche sur les terres et les ressources biologiques
Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction générale de la recherche
CRTRB Contribution no 95-105

Sainte-Foy, QU et Ottawa, ON

1995

Responsable de l'étude: Chang Wang, Ph. D. CRTRB, Ottawa
Gestionnaire du site: Michel C. Nolin, Ph.D. CRTRB, Ste-Foy
Techniciens: Mario J. Deschênes CRTRB, Ste-Foy
Claude Lévesque CRTRB, Ste-Foy

Adresse: Équipe pédologique du Québec
Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques
Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada
350, rue Franquet, entrée 20
Sainte-Foy (Québec) G1P 4P3
Téléphone: 418-648-7730
Télécopieur: 418-648-5489

Site No.: 17-QU (Saint-Marc)
Site satellite

Ferme: Ferme Belvallée Enr.
Personne-ressource: M. Réjean Lavallée
Adresse: 103, rang des Trente
Saint-Marc, Comté de Verchères
(Québec) J0L 2E0

Site No.: 18-QU (Saint-Antoine)
Site repère

Ferme: Camille et Paul-André Girouard
Personne-ressource: M. Camille Girouard
Adresse: 1652, rue Durivage
Saint-Antoine, Comté de Verchères
(Québec) J0L 1R0

Cette publication peut être citée ainsi:

Nolin, M.C., Wang, C., Deschênes, M.J. et Lévesque, C. 1995. Description des sites repères 17-QU & 18-QU. Rapport #1. Données de base. Programme d'évaluation de la qualité des sols. CRTRB, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ste-Foy. CRTRB Contrib. No 95-105 32 p.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements sincères s'adressent à J.M. Cossette, L. Lamontagne, L. Grenon et A. Martin de l'Équipe pédologique du Québec du CRTRB (Agriculture et Agroalimentaire Canada) pour leur assistance occasionnelle à l'étude ainsi qu'à C. Bernard, A. N'dayegamiye et M. Rompré du Service des Sols du MAPAQ pour leurs remarques constructives lors de l'édition du rapport.

TABLE DES MATIÈRES

Page

TABLE DES MATIÈRES iii

LISTE DES TABLEAUX v

LISTE DES FIGURES v

SITES REPÈRES SUR LA QUALITÉ DES SOLS - L'ÉTUDE 1

INTRODUCTION 1
OBJECTIFS 1
CRITÈRES DE SÉLECTION DES SITES 2

MATÉRIEL ET MÉTHODES 2

DESCRIPTION DE L'AGRO-ÉCOSYSTÈME 2
Cadre agro-écologique de la région 2
Cadre pédologique de la région 2
Activités agricoles 2
Bilan de l'inventaire sur la dégradation des sols 3
STRATÉGIE ET PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE 3
Stratégie d'échantillonnage 3
Plan d'échantillonnage 3
MÉTHODOLOGIE 3
Échantillonnage préliminaire 3
Échantillonnage annuel 5
Échantillonnage périodique 6
Méthodologie analytique (laboratoire) 7
TRAITEMENT DE L'INFORMATION 8

DESCRIPTION DU SITE SATELLITE 17-QU (SAINT-MARC) 9

LOCALISATION DU SITE 9
AGRONOMIE 9
Description de la ferme 9
Historique de la parcelle 9
Pratiques culturales en cours 11
DESCRIPTION DES SOLS ET DU PAYSAGE 11
Caractéristiques topographiques 11
Caractéristiques pédologiques 11

DESCRIPTION DU SITE REPÈRE 18-QU (SAINT-ANTOINE) 17

LOCALISATION DU SITE 17
AGRONOMIE 17
Description de la ferme 17
Historique de la parcelle 17
Pratiques culturales en cours 18

Page

DESCRIPTION DES SOLS ET DU PAYSAGE 18
Caractéristiques topographiques 18
Caractéristiques pédologiques 18

COMPARAISON DES DONNÉES DE BASE DES SITES 17-QU (ST-MARC) ET 18-QU (ST-ANTOINE) 25

SIMILARITÉ PÉDOLOGIQUE 25
Pureté taxonomique des sites 25
Variation granulométrique des couches de sol 25
COMPARAISON DE QUELQUES INDICATEURS DE LA QUALITÉ DES SOLS AU TEMPS t_0 27
Réaction du sol 27
Contenu en carbone organique 27
Contenu en bases échangeables 28
Formes de Fe et Al libres 28
CONCLUSIONS 28

BIBLIOGRAPHIE 29

APPENDICE: DONNÉES CLIMATIQUES DE LA STATION MÉTÉOROLOGIQUE DE VERCHÈRES 31

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques du pédon représentatif du site 17-QU (Point #26) ... 14

Tableau 2. Variation des descripteurs non métriques (données morphologiques) du site 17-QU selon la série de sols: *(Providence = 90% et Dujour = 10%)* ... 15

Tableau 3. Variation des descripteurs métriques (épaisseur et données analytiques) du site 17-QU selon la série de sols: *(Providence = 90% et Dujour = 10%)* ... 15

Tableau 4. Variation des descripteurs métriques (épaisseur et données analytiques) de la couche de surface (0-30 cm) du site 17-QU selon l'unité cartographique *(Phase de texture de la couche de surface)* ... 16

Tableau 5. Caractéristiques physico-chimiques du pédon représentatif du site 18-QU (Point #26) ... 21

Tableau 6. Variation des descripteurs non métriques (données morphologiques) du site 18-QU selon la série de sols: *(Providence = 100%)* ... 22

Tableau 7. Variation des descripteurs métriques (épaisseur et données analytiques) du site 18-QU selon la série de sols: *(Providence = 100%)* ... 22

Tableau 8. Variation des descripteurs métriques (épaisseur et données analytiques) de la couche de surface (0-30 cm) du site 18-QU selon l'unité cartographique *(Phase de texture de la couche de surface)* ... 23

Tableau 9. Comparaison statistique (test-*t*) des descripteurs métriques (épaisseur et données analytiques) de la couche de surface (0-30 cm) selon le site (17-QU *vs* 18-QU) et l'unité cartographique *(Phase de texture de la couche de surface)* ... 26

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Représentation des plans d'échantillonnage utilisés pour le suivi de la qualité des sols sur le site satellite 17-QU (Saint-Marc) et le site repère 18-QU (Saint-Antoine): a) grille de référence; b) étude pédologique, topographique et physico-chimique de base; c) étude au champ de la conductivité hydraulique à saturation; d) étude de la qualité de la structure de la couche de surface (stabilité des agrégats et densité apparente) et du rendement des cultures ... 4

Figure 2. Localisation du site satellite 17-QU (Saint-Marc) et du site repère 18-QU (Saint-Antoine) dans le comté de Verchères, province de Québec ... 10

Figure 3. Carte topographique très détaillée (cotes d'altitude à intervalle de 0,25 m) du site repère 17-QU (Saint-Marc) ... 12

Figure 4. Carte pédologique très détaillée du site satellite 17-QU (Saint-Marc) ... 13

Figure 5. Carte topographique très détaillée (cotes d'altitude à intervalle de 0,25 m) du site repère 18-QU (Saint-Antoine) ... 19

Figure 6. Carte pédologique très détaillée du site satellite 18-QU (Saint-Antoine) ... 20

SITES REPÈRES SUR LA QUALITÉ DES SOLS - L'ÉTUDE

INTRODUCTION

Depuis plusieurs décennies, la volonté d'atteindre une production élevée et d'améliorer les rendements des cultures a poussé, de plus en plus, les agriculteurs à drainer les terres humides et les marécages, à déboiser celles situées en pente abrupte, à améliorer celles difficilement cultivables ou à faibles rendements, à utiliser de fortes doses de produits chimiques ainsi que de la machinerie lourde et à pratiquer la monoculture intensive (Wang et coll. 1991). Tous ces facteurs ont contribué à accélérer la dégradation des sols au Canada (Coote 1991). Le comité sénatorial permanent de l'agriculture, des pêches et des forêts a estimé que les agriculteurs canadiens perdaient en 1984 un milliard de dollars en revenus à la ferme à cause de la dégradation des sols (Sparrow 1984). Évidemment, cette perte monétaire n'incluait pas les dommages causés à l'environnement comme la pollution des rivières, des lacs et des eaux souterraines, attribuables à l'érosion des sols et à l'utilisation de doses massives de produits chimiques, ni la destruction des lieux de reproduction pour la sauvagine causée par le drainage des terres humides et des marécages. Le récent inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec (Tabi et coll. 1990a) a démontré l'envergure du phénomène dans la province, plus particulièrement dans les régions agricoles de la plaine de Montréal (4, 6, 7 et 10) intensément utilisées pour la production de grandes cultures (maïs-grain, soya, céréales, *etc.*), de cultures industrielles (pommes de terre, tabac, *etc.*) et horticoles, souvent en monoculture.

Devant l'urgence de la situation, le centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques (CRTRB) d'Agriculture Canada a amorcé en 1988 un projet dans l'Est du Canada visant à suivre l'évolution de la qualité des sols. Ce projet a été adopté à l'échelle nationale en 1990 par le Programme National de Conservation des Sols (NSCP) à l'intérieur du Programme d'Évaluation de la Qualité des Sols (SQEP) du CRTRB.

Cette étude appelée "Sites repères sur la qualité des sols" (SQUBS) a consisté à établir à partir de 1989 un réseau national de 22 sites repères représentatifs des principaux agro-écosystèmes canadiens et de leurs problèmes potentiels de dégradation afin d'y déterminer quantitativement, grâce à un suivi à long terme (au moins 10 ans), les changements dans la qualité des sols soumis à diverses régies et cultures. C'est dans cet optique que les sites 17-QU (Saint-Marc) et 18-QU (Saint-Antoine) ont été établis en mai 1989 pour représenter les sols argileux gleysoliques de la plaine de Montréal.

OBJECTIFS

L'étude de sites repères doit être perçue comme une "étude de cas" visant à suivre et quantifier l'évolution de la qualité des sols. Deux postulats soutendent cette approche:

1) des sites repères des pédopaysages les plus <u>représentatifs</u> des principaux agro-écosystèmes canadiens, aménagés et gérés suivant les <u>systèmes culturaux couramment en usage</u> dans chaque région du pays, peuvent être sélectionnés et caractérisés en détail afin de créer une banque de données de base qui permettra d'évaluer l'état général de la qualité des sols au Canada;

2) le suivi de l'évolution de certains <u>descripteurs pédologiques et biologiques</u> à l'intérieur de ces sites repères durant dix ans ou plus permettra d'évaluer l'évolution de la qualité des sols au Canada.

Le principal objectif du réseau est donc de **fournir les données de base pour l'évaluation du changement de la qualité des sols ainsi que de la productivité biologique (rendements, *etc.*) des principaux systèmes culturaux utilisés au Canada.** Ce réseau permettra en plus d'évaluer la durabilité de ces systèmes culturaux et de tester et valider différents modèles de prédiction de la dégradation et de la productivité des sols. Il sera aussi possible et souhaitable d'y réaliser des programmes de recherches multidisciplinaires intégrés sur la conservation des sols dans le cadre du développement durable de l'agriculture et de la protection de l'environnement.

CRITÈRES DE SÉLECTION DES SITES

D'une superficie moyenne de 5 ha, chaque site repère est situé sur une ferme typique par sa taille, ses cultures et ses façons culturales de la région agricole dont elle fait partie. Pour être sélectionnés, ces sites doivent en plus:

1) représenter une région pédologique, écologique ou physiographique importante du territoire représenté,
2) permettre d'identifier l'impact d'un processus de dégradation potentiel, et enfin
3) être en harmonie avec les priorités et les initiatives provinciales en matière de développement agricole.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

DESCRIPTION DE L'AGRO-ÉCOSYSTÈME

Les sites 17-QU et 18-QU font partie de la région agricole 06 (Richelieu-St-Hyacinthe), laquelle présente de nombreuses similarités agro-écologiques et pédologiques avec les autres régions agricoles (en totalité ou en partie) composant la partie centrale des basses terres du St-Laurent (*i.e.* 4, 7, 8, 10 et 11).

Cadre agro-écologique de la région

Sur le plan physiographique, la région agricole 06 se caractérise par un relief plat ou prévalent des conditions généralisées de mauvais drainage.

Cette région compte parmi les plus favorisées du Québec sur le plan climatique (données détaillées en appendice). Le climat peut être qualifié de continental tempéré car il comporte des écarts annuels de température prononcés (en moyenne de 30° C), une précipitation estivale assez forte (précipitation annuelle moyenne d'environ 1 000 mm, dont 30 à 40 % l'été) et un climat généralement tempéré avec des étés pas très chauds (température moyenne journalière du mois de juillet de 22° C) et des hivers pas très froids (température moyenne journalière du mois de janvier de -10° C). Selon Dubé et Chevrette (1981), la somme des degrés-jours annuels pour une température seuil de 5° C (céréales) varie entre 1 939 et 2 125 et entre 916 et 1 064 pour une température seuil de 10° C (maïs et fèves). Elle se situe majoritairement dans la zone présentant plus de 2 700 unités thermiques-maïs (Dubé et coll. 1984). La longueur de la saison de croissance, établie selon le nombre de jours où la température moyenne journalière excède 5° C, atteint entre 201 et 208 jours débutant entre le 10 et le 14 avril et se terminant entre le 31 octobre et le 4 novembre. La période sans gel est d'environ 140 jours.

Cadre pédologique de la région

Un relevé détaillé récent des sols de la partie nord de la région 06 (Nolin et coll. 1991) révèle que l'ordre gleysolique y domine nettement, regroupant 71 taxons et occupant 89,3% de la superficie classifiée comme "sol". Parmi ceux-ci, les sols argileux y étaient les plus abondants, couvrant au total une superficie de 76 734 ha. Sur la carte généralisée (échelle 1:1 000 000) des pédopaysages du Canada, section Sud-Ouest de la province de Québec (Lamontagne et Drolet 1992), les sites 17-QU et 18-QU se situent dans le polygone #1 (**Ucy/WI1/1**). Ce polygone, d'une superficie de 2147 km^2, est dominé par des sols gleysoliques sur argile d'origine marine à modelé de surface horizontal (*i.e.* pente variant de 1 à 3 %).

Les sols de la série de Providence (Gleysol humique orthique) qui dominent les deux sites repères sont très importants en superficie dans cette région couvrant 21 213 ha, soit environ 10% de la superficie totale (Nolin et coll. 1991). Ce sont des sols profonds et mal drainés. Ils se sont formés à partir d'un matériau argileux-très fin, mixte, neutre, doux, subaquique, d'origine marine (Mer de Champlain) qui a été remanié par les eaux du Proto-Saint-Laurent (LaSalle 1963).

Activités agricoles

La région 06 représente en superficie environ 10% de l'espace agricole québécois. Au recensement de 1986, près de 100 000 ha y étaient utilisés pour la production intensive (*i.e.* utilisant de fortes doses d'engrais chimiques et de pesticides, des variétés à la limite de la zone climatique, de la machinerie lourde, *etc.*) de maïs-grain, souvent en système continu (monoculture), comparativement à environ 54 000 ha pour les céréales et 69 000 pour les

fourrages (Tabi et coll. 1990b). Bien que de moins en moins importante dans cette région, la production laitière y regroupe encore près de 34% des fermes. Pour sa part, la production porcine était pratiquée par approximativement 12% des fermes (Tabi et coll. 1990b).

Bilan de l'inventaire sur la dégradation des sols

Parmi toutes les régions agricoles du Québec, celle de St-Hyacinthe-Richelieu est la plus touchée par les problèmes de dégradation (Tabi et coll. 1990a). L'inventaire mené par le gouvernement du Québec (Tabi et coll. 1990b) a entre autre révélé que la qualité de la structure des sols était très affectée par les phénomènes de dégradation, la détérioration de la structure touchant en effet plus de 92 % des superficies en monoculture. De plus, ce phénomène favorise un autre type de dégradation physique dont il est souvent le précurseur: le compactage. Tabi et coll. (1990b) estiment à près de 18 %, les superficies en monoculture touchées par ce problème de dégradation.

La fertilité des sols est aussi une qualité influencée par les systèmes culturaux utilisés dans cette région avec respectivement 74 et 48 % des superficies en monocultures affectées par la surfertilisation et l'acidification. À ces deux problèmes s'ajoute la diminution de la matière organique qui influence les deux qualités précédentes ainsi que la qualité biologique du sol et qui touche environ 65% des superficies en monoculture.

STRATÉGIE ET PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

Stratégie d'échantillonnage

En fonction des critères définis précédemment, le choix de cette région agricole et de cette série de sols pour établir un des sites repères du Québec était donc parfaitement justifié. Afin de comparer l'évolution de la qualité des sols selon deux systèmes culturaux différents (une rotation faisant intervenir des prairies *vs* une rotation ne comprenant que des plantes annuelles), un dispositif pairé a été utilisé. Le site 18-QU est ainsi considéré comme le site repère de la plaine de Montréal tandis que le site 17-QU est considéré comme un site satellite. Le site 18-QU a donc été choisi sur une ferme spécialisée dans la production de grandes cultures et le site 17-QU sur une ferme laitière. Le site repère 18-QU fait l'objet d'un suivi annuel tandis que le site satellite 17-QU est généralement étudié à intervalle plus espacé (*v.g.* au 3-5 ans selon les descripteurs).

Plan d'échantillonnage

Compte tenu du relief plat qui caractérise les deux sites et de leur grande homogénéité pédologique, la variabilité des descripteurs pédologiques a été établie au moyen d'un échantillonnage systématique en utilisant une grille de référence (Figure 1a). L'intervalle d'échantillonnage a été fixé à 30 m. La grille était alors constituée de trois transects parallèles formés de 17 points d'échantillonnage, pour un total de 51 points.

MÉTHODOLOGIE

Échantillonnage préliminaire

Étude pédologique très détaillée des sites:
La première activité consiste à dresser une carte pédologique très détaillée du site repère en utilisant le plan d'échantillonnage décrit précédemment. L'échelle du photoplan servant de base à la carte est de 1:2 500. Il a été obtenu par agrandissement 36X des photos aériennes Q83306-101 (site 17-QU) et Q83805-257 (site 18-QU) publiées par le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec en infra-rouge, noir et blanc, à l'échelle de 1:15 000.

Un échantillonnage systématique de la couche de surface (Ap) comprise entre 0-30 cm a été effectué sur les 51 points de la grille (Figure 1b) parallèlement aux travaux de cartographie et de description des sols. De plus les couches sises entre 30-50 cm (Bg1) et entre 50-70 cm (Bg2) ont été échantillonnées pour neuf points de la grille (points # 2, 7, 10, 17, 24, 32, 37, 40 et 47). Enfin, dans chacun des sites, un pédon représentatif de la série de Providence a été échantillonné et décrit en détail selon la séquence naturelle des horizons. Ce pédon était situé au centre de la parcelle (point # 26). La granulométrie ainsi que les analyses chimiques de routine (le pH, le C total inorganique et organique, le N total, les cations échangeables, la CEC, le P et le K disponible et les différentes formes de Fe et de Al libres) ont été effectuées afin de déterminer l'état initial ($temps_0$) de la qualité des sols. Des analyses plus sophistiquées comme la minéralogie des argiles, la surface spécifique et l'analyse totale de certains éléments chimiques (Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Ni, Pb et Zn) ont été déterminés sur des échantillons choisis de la grille

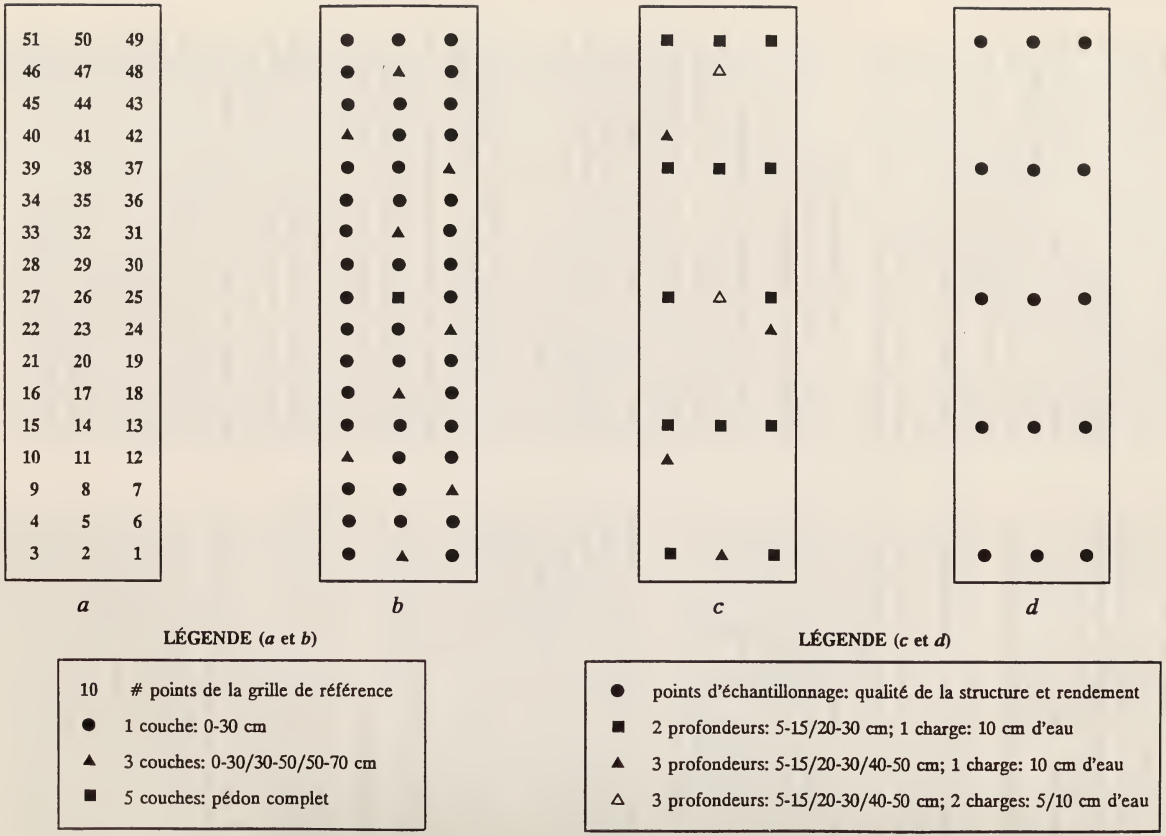


Figure 1. Représentation des plans d'échantillonnage utilisés pour le suivi de la qualité des sols sur le site satellite 17-QU (Saint-Marc) et le site repère 18-QU (Saint-Antoine): a) grille de référence; b) étude pédologique, topographique et physico-chimique de base; c) étude au champ de la conductivité hydraulique à saturation; d) étude de la qualité de la structure de la couche de surface (stabilité des agrégats et densité apparente) et du rendement des cultures.

de référence (points # 25, 26, 27, 28, 29, 30 et 31) pour une caractérisation plus complète des sites repères. De plus, quelques analyses physiques (densité apparente et courbes de rétention d'eau) ont été effectuées sur tous les horizons (4-5 cylindres par horizon) du pédon échantillonné (point # 26).

Étude topographique très détaillée des sites:
Un relevé topométrique très détaillé des sites a été réalisé au moyen d'un théodolite et d'un stadia. La grille de référence a servi à la localisation des points de mesure (Figure 1a). Une carte d'altitude a ainsi été produite avec des intervalles de 0,25 m. Des bornes métalliques, facilement détectable à l'aide d'un détecteur de métal (Micronta de Tandy Corporation) ont été enfouies sous terre (à environ 30 cm sous la surface du sol) à intervalles de 100 m, immédiatement à la marge des parcelles afin de servir de ligne de base pour la localisation précise et permanente des points d'échantillonnage.

Échantillonnage annuel

Dans le site repère 18-QU, la variation spatiale et temporelle de certains descripteurs indicatifs de la qualité des sols est mesurée annuellement, la première année comprise, parfois *in situ*, *i.e.* au champ, d'autre fois en laboratoire. Dans le site satellite 17-QU, seul certains descripteurs sont mesurés annuellement.

Conductivité hydraulique saturée (Ksat):
La conductivité hydraulique saturée est mesurée au champ à l'aide du perméamètre de Guelph selon trois profondeurs (5-15, 20-30 et 40-50 cm) en utilisant des charges d'eau de 10 et parfois de 5 cm de hauteur tel que décrit par Reynolds (1993). Les mesures sont effectuées en utilisant 19 points de la grille de référence (Figure 1c). Les mesures sont habituellement prises à la fin du printemps, au début de la saison de croissance (fin mai-début juin), une fois que le sol est suffisamment ressuyé et avant qu'il n'y ait apparition de fentes de retrait. La conductivité hydraulique saturée est mesurée annuellement pour le site repère 18-QU et à tous les cinq ans dans le site satellite 17-QU. Cette propriété est indicative de la capacité d'infiltration et de la perméabilité du sol.

Résistance à la pénétration et humidité du sol:
La résistance du sol à la pénétration est effectuée deux fois par saison (mi-mai et mi-juin) à l'aide d'un pénétromètre à pointe conique (30°) et à enfoncement progressif (Star Quality Samplers 1990). Les mesures sont prises systématiquement à trois profondeurs différentes (0-15, 15-30 et 30-50 cm) pour les 51 points d'échantillonnage de la grille de référence (Figure 1a). Un échantillon de sol est prélevé à chacune des profondeurs pour déterminer son contenu en eau au laboratoire.
Cette mesure est effectuée annuellement dans les deux sites. La résistance du sol à la pénétration jumelée à la mesure de l'humidité du sol au moment de l'essai au champ s'est avérée efficace pour évaluer rapidement et de façon répétée durant la saison de végétation le degré et la persistance de l'ameublissement du sol, la profondeur potentielle d'enracinement, la densité relative et le compactage des sols soumis à diverses cultures et façons culturales (Billot 1982, Moolman et Van Huyssteen (1989).

Densité apparente et stabilité structurale:
Afin d'évaluer l'évolution de la qualité de la structure de la couche de surface, des mesures de densité apparente et de stabilité structurale sont effectuées depuis 1992. La densité apparente est mesurée annnuellement dans chacun des sites pour 15 points de la grille de référence (Figure 1d). La stabilité structurale est mesurée périodiquement (à tous les trois ans) en utilisant les mêmes points d'échantillonnage (Figure 1d).

Trois cylindres de 5,25 cm de diamètre et de 6 cm de hauteur sont échantillonnés dans la partie supérieure de la couche de surface (2-8 cm) au moyen d'une carotteuse manuelle à doubles cylindres afin de mesurer la densité apparente.

Pour la mesure de la stabilité structurale, un échantillon composite non dérangé de 2 kg (5 sous-échantillons) est prélevé dans la partie supérieure de la couche de surface (2-8 cm de profondeur), transporté au laboratoire avec précaution et gardé dans une chambre froide jusqu'au moment de l'analyse. La stabilité structurale est déterminée sur deux sous-échantillons de 40 g selon la méthode de tamisage humide de Kemper et Chepil (1965) telle que modifiée par Angers et Mehuys (1988) en utilisant l'appareil proposé par Bourget et Kemp 1957). Un premier tamisage à 8 mm est effectué au laboratoire. Une fois dispersée dans 10 ml d'une solution de Calgon (50 g/l) et agitée pendant une heure, le sol est retamisé sur une série de tamis (2, 1, 0,5 et 0,25 mm). Le contenu de chaque tamis est

séché à 105°C et pesé. Les valeurs obtenues sont corrigées selon le taux d'humidité du sol. Le diamètre moyen pondéré (DMP) des agrégats est un excellent indicateur de la qualité de la structure du sol (Tabi et coll. 1990a).

Mesure du rendement biologique (productivité):
Une mesure du rendement des cultures est effectuée annuellement depuis 1992 pour chacun des sites sur 15 points d'échantillonnage de la grille de référence (Figure 1d). La méthodologie développée par la Régie des assurances agricoles du Québec (Direction de l'assurance-récolte 1991a,b,c) pour l'évaluation des rendements des cultures est généralement utilisée.

FOIN: Ainsi, le pivot du mètre carré est utilisé pour l'échantillonnage du foin (graminées fourragères et légumineuses). Pour chacune des coupes, l'échantillonnage est effectué quelques jours avant la date de récolte prévue par le producteur. Toutes les plantes dont le pied se situe à l'intérieur de la circonférence tracée par le pivot sont coupées à 10 cm du sol à l'aide de ciseaux. Le produit de la récolte est pesé dans une bâche directement au champ. Un sous-échantillon représentatif d'environ 500 gr est prélevé, placé dans un sac en papier de poids pré-déterminé et pesé (poids humide). Il est ensuite séché à 60°C durant 48 heures, puis pesé (poids sec) afin d'exprimer le rendement sur base humide et sèche.

CÉRÉALES: On procède à l'échantillonnage des céréales lorsque celles-ci ont atteint un stade de maturité assez avancé pour que les opérations de battage puissent débuter. On recueille à l'aide de ciseaux (à 10 cm du sol) tous les plants qui se situent à l'intérieur de la circonférence définie par le pivot du mètre carré. Les plants sont placés dans un sac, les têtes vers le bas du sac, séchés, battus, criblés et pesés. Le poids du grain et celui de la paille sont mesurés séparément de façon à trouver l'indice de récolte (poids sec du grain sur le poids sec total de la récolte). Après mesure du taux d'humidité, le rendement humide est ajusté pour représenter des céréales contenant 15% d'humidité. Cette méthodologie s'applique pour l'avoine, l'orge, le blé de printemps et le sarrasin.

SOYA: Cette méthodologie s'applique aussi au soya si les rangs sont espacés de moins de 36 cm. Par contre, si les rangs sont espacés de 36 cm et plus, le soya est échantillonné sur le rang sur une longueur variant en fonction de l'espacement entre les rangs (*v.g.* longueur = 5,33 m si espacement = 75 cm).

MAÏS-GRAIN: Le maïs-grain est aussi échantillonné sur le rang selon une longueur variant en fonction de l'espacement entre les rangs. Après avoir compté le nombre de plants sur la longueur du rang, tous les épis récoltables (*i.e.* qui auront atteint le stade pâteux dur au moment de la récolte et dont le diamètre est supérieur à 1,5 cm) sont prélevés, épluchés, nettoyés, détachés de leur talon et pesés au champ. Un sous-échantillon de trois plants (tige+épis) représentatifs est sélectionné pour déterminer le pourcentage d'humidité, le rendement sec, le rendement humide (15% d'humidité) et l'indice de récolte.

Échantillonnage périodique

Caractérisation des propriétés physico-chimiques:
La variation spatio-temporelle des propriétés physico-chimiques (pH, C organique, cations échangeables, Fe et Al libres) de chacun des sites est étudiée au moyen d'un échantillonnage systématique à tous les cinq ans (1989, 1994, 1999, *etc.*). On a alors recours au même dispositif d'échantillonnage que pour la caractérisation des données de base (Figure 1b).

Comptage des racines et des biopores:
Un comptage des racines et des biopores est effectué à tous les cinq ans à cinq points (points # 2, 10, 26, 37 et 47) de la grille de référence (Figure 1a). Le comptage se fait au champ à trois profondeurs (5, 25 et 50 cm) sur une surface de 400 cm^2 définie au moyen de quatre quadrants de 10 x 10 cm. La technique de nettoyage des profils de sol à l'air comprimé proposée par Veer et Wang (1992) est utilisée car elle permet de faire bien ressortir les caractères morphologiques du sol et améliore grandement la numération des pores et des racines.

Comptage des vers de terre:
Un comptage des vers de terre est effectué à tous les cinq ans à cinq points (points # 2, 10, 26, 37 et 47) de la grille de référence (Figure 1a). Le comptage se fait au champ pour la couche de surface (0-30 cm) sur une surface de 2500 cm^2 définie au moyen de quatre quadrants de 25 x 25 cm. Le comptage se fait suite à un tamisage grossier (maille de 2-3 cm) et un tri manuel tel que décrit dans la procédure 35.2.2 et 35.3.2 (Baker et Lee 1993).

Méthodologie analytique (laboratoire)

Échantillonnage et préparation des sols:
Les échantillons sont prélevés et échantillonnés selon les procédures décrites au chapitre 1 du manuel de méthodes analytiques 1984 édité par Sheldrick (1984). Une fois séchés à l'air, les échantillons sont passés au tamis 2 mm pour en extraire les fragments grossiers. Étant donné leur faible importance dans les sols de la série de Providence, les fragments grossiers ne sont pas évalués plus en détail.

Réaction du sol (pH):
Le pH est mesuré dans l'eau avec un rapport sol-solution 1:1 selon la méthode 84-001 (Sheldrick 1984) ainsi que dans une solution de $CaCl_2$ 0,01 M avec un rapport sol-solution 1:2 selon la méthode 84-002 (Sheldrick 1984).

Carbone total:
Le dosage du carbone total est réalisé par combustion à sec dans un four à induction LECO selon la procédure 84-013 (Sheldrick 1984).

Carbone organique total:
Le carbone organique total est dosé par oxydation par voie humide (Walkley-Black modifié) selon la procédure 84-014 (Sheldrick 1984).

Azote total:
L'azote total est mesuré par digestion micro-Kjedahl avec prétraitement pour inclure NO_2^- et NO_3^- selon la méthode décrite par McGill et Figueiredo (1993): procédures 22.3.3 et 22.3.4).

Charge permanente de la capacité d'échange cationique (CEC) et cations échangeables:
Les cations échangeables (Ca, Mg et K) sont extraits dans une solution de NaCl 2M et la charge permanente de la CEC est obtenue par la somme des cations dosés selon la procédure 84-004 (Sheldrick 1984).

Formes de fer et d'aluminium libres:
Les formes de Fe et Al libres sont déterminées d'après trois méthodes d'extraction communément utilisées pour l'étude de la pédogénèse: 1) le pyrophosphate de sodium permet d'extraire les complexes organiques de Fe et Al (Ross et Wang (1993): procédure 25.5.2), 2) l'oxalate acide d'ammonium dissout le Fe et l'Al se présentant sous forme de minéraux amorphes ainsi que les complexes organiques (Ross et Wang (1993): procédure 25.3.2) et enfin 3) le dithionite-citrate-bicarbonate (DCB) extrait, en plus des deux formes précédentes de Fe, l'hématite, la goethite et la lépidocrocite finement divisées (Ross et Wang (1993): procédure 25.2.2).

Phosphore disponible:
Le phosphore disponible est dosé selon la méthode Bray-I (NH_4F 0,03M + HCl 0,025M) selon la procédure 84-017 (Sheldrick 1984).

Potassium disponible:
Le potassium disponible est extrait dans le H_2SO_4 0,05M et dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique (Knudsen et coll. 1982).

Analyse élémentaire totale:
Pour l'analyse élémentaire totale, les échantillons de sol, broyés à 300 mailles, sont dissouts en milieu acide (acide perchlorique, nitrique et fluorhydrique). Les éléments (Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Ni, Pb et Zn) sont ensuite dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique selon la procédure 84-023 (Sheldrick 1984).

Analyse granulométrique:
La distribution des particules <2 mm est déterminée par la méthode de la pipette selon la procédure 84-026 (Sheldrick 1984). Des prétraitements pour éliminer les carbonates, la matière organique et les oxydes de fer sont effectués lorqu'ils s'avèrent nécessaires.

Analyse minéralogique:
Les minéraux présents dans la fraction argileuse, recueillie lors de l'analyse granulométrique d'échantillons sélectionnés (couche de surface des points #25, 27, 28, 29, 30, 31 ainsi que tous les horizons du pédon - point #26), sont identifiés par diffraction des rayons-X (DRX). L'identification d'un minéral repose sur l'utilisation de certains traitements, *v.g.* saturation homoionique, absorption de glycérol, chauffage, *etc.*. Des spécimens orientés sont utilisés pour l'analyse. Ainsi, un échantillon contenant 30 mg de la fraction argileuse, saturée au Mg et prétraitée à l'eau oxygénée (H_2O_2) pour enlever la matière organique ainsi qu'au dithionite-citrate-bicarbonate pour enlever les oxydes de fer, est mis en suspension dans 1 ml d'eau (pour les échantillons séchés à l'air et chauffés à 550°C) ou dans 1 ml d'une solution aqueuse de glycérol (pour les échantillons à être dissouts dans le glycérol).

Chaque suspension est prélevée à la pipette et déposée sur une lamelle de verre (30 mm x 25 mm), puis séchée à l'air. Les spécimens sont analysés en utilisant un diffractomètre Roman numeral Scintag PAD V avec radiation au Co et monochromateur au graphite. La quantité des minéraux est estimée d'après les intensités de diffraction selon une procédure semblable à celle décrite par Kodama et coll. (1977). Les résultats sont présentés sur une base semi-quantitative. La fraction amorphe aux rayons-X est définie comme la somme de tous les composantes non-cristallines qui ne peuvent pas être pris en compte par la DRX (*i.e.* 100% - somme des composantes cristallines).

Mesure de la surface spécifique:
La surface spécifique est mesurée par la méthode de l'EGME (éthylène-glycol-monoethyl-éther) selon la procédure décrite par Cihacek et Bremner (1979) qui consiste à placer 1 g d'échantillon de sol broyé à 40 mailles dans un récipient en aluminium, à le sécher dans une cloche sous vide contenant environ 200 g de P_2O_5 jusqu'à l'obtention d'un poids constant, à traiter le sol avec l'EGME pour former une pâte (environ 3 ml) et enfin, à le sécher de nouveau sous vide jusqu'à l'obtention d'un poids constant: la différence pondérale de l'échantillon avant et après le traitement à l'EGME divisée par le poids de l'EGME absorbé (0,000286 g/m^2) donne la surface spécifique totale en m^2/g.

Densité apparente:
La densité apparente est mesurée selon la méthode 2.212 décrite dans le manuel de méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols (McKeague 1977). Les valeurs sont corrigées pour tenir compte des particules supérieures à 2 mm.

Rétention en eau et porosité:
La rétention en eau est déterminée sur des échantillons non dérangés (cylindres de 5,25 cm de diamètre et 6 cm de hauteur) au moyen d'une table à tension (milieu de tension: grains de verre) pour des valeurs de 0, 10, 30, 60 et 100 cm d'eau et au moyen d'une table à tension (milieu de tension: poudre d'oxyde d'aluminium) pour des valeurs de tension de 1/3 et 1 bar selon la procédure 53.3.1 (Topp et coll. 1993). La rétention en eau à des valeurs de tension de 4 et 15 bars est déterminée sur des échantillons en vrac (<2 mm) avec des marmites à pression avec plaque poreuse selon la procédure 53.4.2 (Topp et coll. 1993).

TRAITEMENT DE L'INFORMATION

L'information recueillie est d'abord analysée par le biais des statistiques descriptives classiques (moyenne, écart-type, coefficient de variation, test de normalité, d'homogénéité de la variance, *etc.*).

L'étude de la variabilité spatiale de l'information au moyen de diverses techniques de la géostatistique (*v.g.* autocorrélation, semi-variance, krigeage, *etc.*) permet ensuite d'évaluer l'efficacité de la stratégie d'échantillonnage (*i.e.* l'intervalle optimal d'échantillonnage) et d'illustrer géographiquement la variation des propriétés indicatrices de la qualité des sols à l'intérieur des parcelles (Trangmar et coll. 1985, Vauclin 1982, Webster 1985, Webster et Olivier 1990).

La comparaison des données de base et des différents indicateurs de la qualité des sols du site repère (18-QU) avec ceux du site satellite (17-QU) est effectué au moyen du test-*t*.

La signification statistique de la différence observée entre les descripteurs pédologiques de chacun des points d'échantillonnage des parcelles d'une période de mesure à l'autre est vérifiée au moyen du test-*t* pour données pairées.

Enfin, des techniques de l'analyse multivariable (*v.g.* régression multiple, corrélations canoniques, analyse en composantes principales, *etc.*) seront occasionnellement utilisées pour comprendre la relation entre les différents ensembles de variables mesurées et ainsi mieux définir le concept de qualité des sols et interpréter les processus de dégradation des sols. En cas de non-respect de l'hypothèse de normalité de la distribution des données, une transformation normalisatrice des données originales est utilisée, sinon le test non-paramétrique correspondant.

DESCRIPTION DU SITE SATELLITE 17-QU (SAINT-MARC)

LOCALISATION DU SITE

Le site satellite 17-QU (St-Marc) est situé dans la partie NO du lot #13 de la Première Concession de la municipalité de St-Marc-sur-Richelieu, au sud-est du comté de Verchères à environ 30 km de la ville de Montréal (Tunnel L.-H. Lafontaine) et 4 km au sud du village de St-Marc (Figure 2). Voici quelques coordonnées plus précises de la parcelle selon le système de projection Mercator transverse universelle (UTM):

	Coin NE	Centre	Coin SO
Zone	18	18	18
Coordonnée E	638 738	638 525	638 325
Coordonnée N	5 055 050	5 055 181	5 055 325
Longitude O	73°13'20"	73°13'14"	73°13'09"
Latitude N	45°38'25"	45°38'19"	45°38'10"

Dimensions et superficie:
La parcelle mesure exactement 88 x 576 m, soit 5,07 ha. Elle est composée de deux planches légèrement arrondies de 44 m de largeur. Le premier transect d'échantillonnage a été placé approximativement au centre de la planche de droite (23 m), les deux autres respectivement à 30 et 60 m de distance de celui-ci, soit respectivement à 8 m de la rigole centrale et du fossé de drainage de gauche. La première et la dernière ligne (17ième) d'observation de la grille de référence sont situées à 48 m des bornes délimitant la parcelle.

AGRONOMIE

L'information concernant l'historique de la ferme et de la parcelle ainsi que les pratiques culturales en cours a été obtenue par interview et questionnaire.

Description de la ferme

La Ferme Belvallée Enr. est une ferme de type familiale fonctionnant en société d'exploitation. On y pratique une agriculture mixte (lait, céréales et veau de grain). Cette ferme a été acquise par la famille Lavallée en 1940. Elle possède actuellement un quota de production de 10 500 kg de m.g. (matière grasse) en lait de consommation et de 10 900 kg de m.g. en lait de transformation. Le troupeau est composé de 85 vaches laitières, 80 animaux de remplacement et 200 veaux de grain.

D'une superficie totale de 378 ha, dont 170 ha en location, la ferme comprend 352 ha en culture et 26 ha en boisée. Quelques 205 ha sont drainés (drains souterrains). Les superficies en culture sont allouées à la production de pâturage (6 ha), de plantes fourragères (138 ha), de maïs-grain (127 ha), de soya (37 ha), de blé et d'avoine (44 ha). On y opère aussi une érablière de 2800 entailles.

Historique de la parcelle

Le lot (#13) sur lequel se situe la parcelle a été acquis en 1980. Des travaux de nivellement et de drainage souterrain (écartement moyen de 15 m) y ont été effectués en 1981. Depuis on y pratique certaines techniques de conservation comme le travail minimum du sol et l'enfouissement d'engrais vert et de fumier de ferme. Un plan de rotation semi-aléatoire de 7 ans (M-M-S-S-F-F-F) où les cultures annuelles comme le maïs-grain (M) et le soya (S) alterneront avec des plantes fourragères (F) est présentement en implantation sur la parcelle. La séquence des cultures et des principaux travaux réalisés depuis 1960 est la suivante:

Année	Culture / travaux
1995	Maïs-grain / labour
1994	Luzerne + mil + brome (2ième année) / labour
1993	Luzerne + mil + brome (1^{ière} année)
1992	Sorgho (plante abri)
1991	Maïs-grain / Moutarde blanche (enfouie) / labour
1990	Luzerne + mil + brome (4ième année) / labour
1989	Luzerne + mil + brome (3ième année)
1988	Luzerne + mil + brome (2ième année)
1987	Luzerne + mil + brome (1^{ière} année)
1986	Maïs-grain / labour
1985	Luzerne + mil + brome (3ième année) / labour
1984	Luzerne + mil + brome (2ième année)
1983	Luzerne + mil + brome (1^{ière} année)
1982	Avoine + blé + orge (plante abri)
1981	Drainage souterrain / labour / nivellement
1980	Foin (5ième année)
1979	Foin (4ième année)
1978	Foin (3ième année)
1977	Foin (2ième année)
1976	Foin (1^{ière} année)
1975	Avoine (plante abri)
1974	Avoine
1973	Foin (5ième année) / labour
1972	Foin (4ième année)
1971	Foin (3ième année)
1970	Foin (2ième année)
1969	Foin (1^{ière} année)
1968	Avoine (plante abri)
1967	Avoine
1966	Foin (5ième année) / labour
1965	Foin (4ième année)
1964	Foin (3ième année)
1963	Foin (2ième année)
1962	Foin (1^{ière} année)
1961	Avoine (plante abri)
1960	Avoine

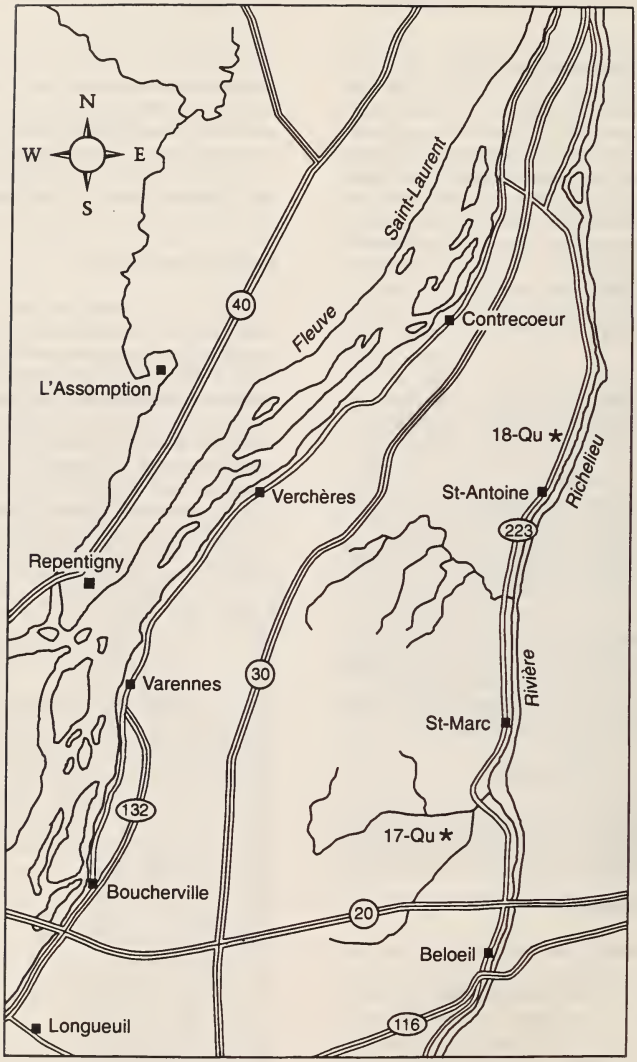


Figure 2. Localisation du site satellite 17-QU (Saint-Marc) et du site repère 18-QU (Saint-Antoine) dans le comté de Verchères, province de Québec

Pratiques culturales en cours

Séquence typique des travaux aratoires:

Date	Travaux
1ière et 2ième année: Maïs-grain	
Début-mai	2 passages de vibroculteur
	Fertilisation pré-semis
	Semis + fertilisation
Mi-juin	Pulvérisation d'ATRAZINE
	Sarclage
Fin-octobre	Récolte
	Déchiquetage après récolte
	Labour ou chisel
3ième et 4ième année: Soya	
Début-mai	2 passages de vibroculteur
	Semis
Mi-mai	Pulvérisation d'herbicides:
	EXCEL-SUPER + BASAGRAN 480-SN ou
	RIVAL 500-EC + BASAGRAN 480-SN
Fin-septembre	Récolte
	Chisel ou labour
5ième année: Luzerne + mil + brome (établissement)	
Début-mai	2 passages de vibroculteur
	Fertilisation de départ
	Semis
Début-juin	1ière coupe
Fin-juillet	2ième coupe
Début-sept.	3ième coupe
6ième et 7ième année: Luzerne + mil + brome	
Début-mai?	Fertilisation d'entretien
Début-juin	1ière coupe
Fin-juillet	2ième coupe
Début-sept.	3ième coupe
Fin-octobre	Labour

Machinerie utilisée:

Tracteurs:	John Deere 4400, 140 CV, 7000 kg
	John Deere 4430, 120 CV, 6500 kg
	John Deere 2130, 65 CV 3000 kg
	John Deere 1640, 55 CV, 3000 kg
	International 584, 55 CV, 2500 kg
Moisonneuse:	John Deere 4400
Charrue:	Knewerland, 4 versoirs de 14 pouces
Vibroculteur:	International 45, largeur: 20 pieds
Épandeur:	Tole, à hélice, capacité: 3 tonnes
Semoir:	International 500
Planteur:	John Deere 1300
Pulvérisateur:	Vicon, capacité: 400 gallons
Faucheuse:	John Deere 1470, à disque, largeur: 12 pieds
Presse:	John Deere 448

DESCRIPTION DES SOLS ET DU PAYSAGE

Sur la carte détaillée (échelle 1:20 000) des sols du comté de Verchères (Lamontagne et Nolin 1990), le site satellite 17-QU occupe une partie du polygone # 1133 (**PV5** - *Providence, argile limoneuse*).

Caractéristiques topographiques

Un levé topométrique très détaillé de la parcelle a révélé une très faible déclivité du terrain (pente de 0,0025%), l'altitude variant de 13,0 m au coin NE à 14,5 m au coin SO (Figure 3).

Caractéristiques pédologiques

Quatre unités cartographiques ont été identifiées lors du levé pédologique très détaillé (échelle 1: 2500) sur la base de la texture de la couche de surface:

Symbole	*Désignation de l'unité*
PV-LLiA	*Providence, loam limono-argileux*
PV-ALi	*Providence, argile limoneuse*
PV-A	*Providence, argile*
PV-ALo	*Providence, argile lourde.*

Ces unités sont composées majoritairement des sols de la série de Providence (90%). On y retrouve aussi en inclusion des sols de la série Du Jour (10%) qui ne peuvent être délimités précisément à l'échelle utilisée (Figure 4). Ils sont semblables à ceux de la série de Providence car ils n'en diffèrent que par la granulométrie du sous-sol qui est constitué d'une argile présentant entre 5 et 20% de fragments grossiers (>2 mm).

Description d'un pédon représentatif:

Un pédon représentatif de la série de Providence a été échantillonné sur le site 17-QU au point #26 de la grille de référence (45°38'19" lat. N., 73°13'14" long. O.). Voici sa description :

Hor.	Prof. (cm)	Description
Ap	0-27	Argile; brun grisâtre très foncé (2,5Y 3/2); structure polyédrique subangulaire, fine, peu développée; consistance friable; assez poreuse; limite nette, ondulée; réaction faiblement acide.
Bg1	27-47	Argile; gris olivâtre (5Y 5/2); mouchetures brun jaunâtre (10YR 5/6), très nombreuses, moyennes, très contrastées; structure polyédrique subangulaire, fine à moyenne, peu développée; consistance ferme; peu poreuse; présence de taches de manganèse; limite graduelle, régulière; réaction faiblement alcaline.
Bg2	47-65	Argile; gris olivâtre (5Y 5/2); mouchetures brun jaunâtre foncé (10YR 4,5/5), très nombreuses, moyennes, très contrastées; sans structure: massive; consistance ferme; peu poreuse; présence de taches de manganèse; limite nette, régulière; réaction faiblement alcaline.
BCg	65-90	Argile lourde; grise (5Y 5/1); mouchetures brun jaunâtre foncé (10YR 4/4), très nombreuses, grandes, très contrastées; structure polyédrique subangulaire, fine, peu développée; consistance ferme; peu poreuse; présence de taches de manganèse; limite graduelle, régulière; réaction faiblement alcaline.
Cg	90 et +	Argile limoneuse; grise (5Y 5/1); mouchetures brun jaunâtre (10YR 5/6), très nombreuses, moyennes, très contrastées; sans structure: massive; consistance ferme; peu poreuse; présence de taches de manganèse; réaction faiblement alcaline.

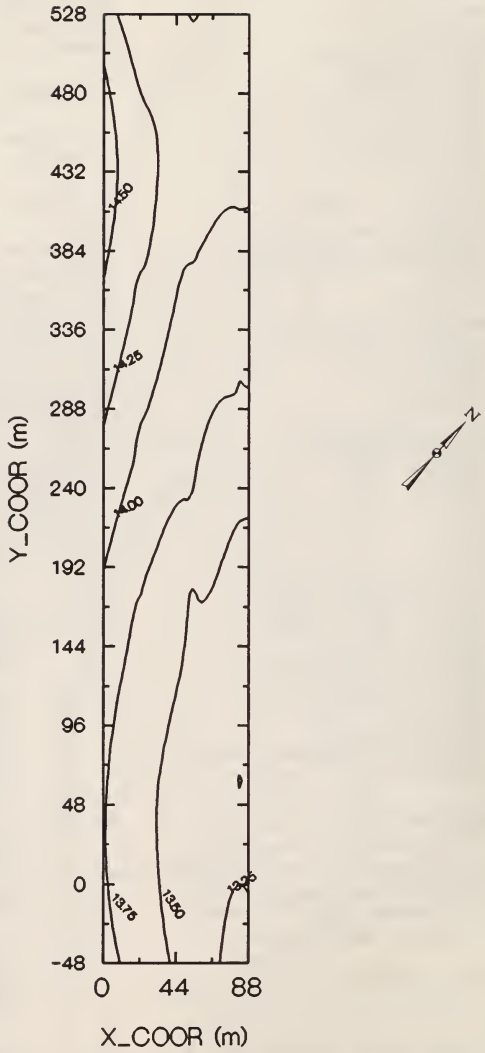
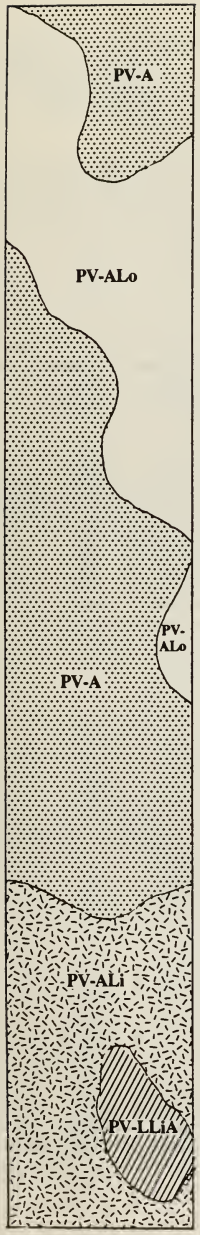


Figure 3. Carte topographique très détaillée (cotes d'altitude à intervalle de 0,25 m) du site repère 17-QU (Saint-Marc).



LÉGENDE

Symbole	*Désignation de l'unité*
PV-LLiA	*Providence, loam limono-argileux*
PV-ALi	*Providence, argile limoneuse*
PV-A	*Providence, argile*
PV-ALo	*Providence, argile lourde*

ÉCHELLE

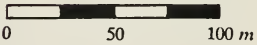


Figure 4. Carte pédologique très détaillée du site satellite 17-QU (Saint-Marc)

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques du pédon représentatif du site 17-QU (Point #26):

Horizon	Profondeur	Fragments grossiers	Fractions sableuses					Sable total	Limon total	Argile totale	Surface spécifique	pH	
			STG	SG	SM	SF	STF					Eau	$CaCl_2$
		> 2 mm	2-1 mm	1-0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,1 mm	0,1-0,05 mm	2-0,05 mm	0,05-0,002 mm	< 0,002 mm			
	(cm)	(%)	(%)					(%)			(m^2 g^{-1})		
Ap	0-27	traces	2,1	3,1	3,5	4,8	2,6	16,1	24,3	59,6	166	6,3	5,9
Bg1	27-47	traces	0,2	0,9	1,2	2,7	1,9	6,9	35,9	57,2	176	7,4	6,5
Bg2	47-65	traces	0,0	0,1	0,1	0,5	1,0	1,7	39,8	58,5	153	7,5	6,8
BCg	65-90	traces	0,0	0,1	0,1	0,2	0,8	1,2	35,6	63,2	145	7,6	7,0
Cg	90 +	traces	0,0	0,0	0,2	0,2	0,9	1,3	50,9	47,8	132	7,8	7,2

Horizon	C organique	N total	DCB		Oxalate		Pyrophosphate		Bases échangeables			Charge permanente de la CEC	K disp.	P disp.
			Al	Fe	Al	Fe	Al	Fe	Ca	Mg	K			
	(%)	(%)	(%)		(%)		(%)		(cmol kg^{-1})			(cmol kg^{-1})	(mg kg^{-1})	
Ap	2,76	0,218	0,21	1,76	0,33	0,98	0,07	0,15	16,60	8,70	0,36	25,60	180	N.D.
Bg1	0,37	0,039	0,16	1,33	0,29	0,53	0,03	0,02	12,70	12,50	0,40	25,60	191	N.D.
Bg2	0,16	0,023	0,16	1,06	0,28	0,30	0,02	0,01	9,00	12,30	0,55	21,85	264	N.D.
BCg	0,17	0,022	0,15	0,99	0,28	0,34	0,02	0,01	8,50	11,60	0,63	20,73	311	N.D.
Cg	0,17	0,021	0,16	0,92	0,28	0,37	0,02	0,01	7,90	10,20	1,43	19,53	377	N.D.

Horizon	Analyse élémentaire totale													
	Al	Fe	Cr	Mg	K	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Ni	Pb	Zn
	(%)					(mg kg^{-1})								
Ap	13,00	5,87	1,23	1,23	2,27	~~3~~	37	251	37	25	680	69	20	120
Bg1	12,40	5,35	1,26	1,45	2,20	~~3~~	37	94	62	19	795	84	15	110
Bg2	13,00	5,48	1,59	1,70	2,41	~~3~~	62	152	69	20	690	96	19	108
BCg	13,70	5,95	2,02	1,88	2,52	~~3~~	43	172	72	17	795	94	14	110
Cg	12,20	5,76	1,85	1,94	2,57	~~3~~	43	213	58	19	885	89	15	108

Horizon	Profondeur des cylindres	Densité apparente	Rétention d'eau sous une tension de								
			0 cm	10 cm	30 cm	60 cm	100 cm	330 cm	1000 cm	4000 cm	15000 cm
	(cm)	(g cm^{-3})	(%)								
Ap	2-8	1,30	42,92	37,52	34,86	34,38	33,92	33,60	32,62	N.D.	N.D.
	18-24	1,31	43,27	37,35	34,28	33,83	33,30	33,08	31,85	N.D.	N.D.
Bg1	28-34	1,46	36,27	33,00	31,53	30,98	30,50	29,97	28,45	N.D.	N.D.
Bg2	50-56	1,40	41,43	38,15	35,92	35,05	34,40	33,67	31,22	N.D.	N.D.
BCg	70-76	1,38	42,25	37,73	35,08	34,25	33,83	33,18	31,00	N.D.	N.D.
Cg	94-100	1,40	40,70	36,60	34,95	34,48	34,33	34,03	32,43	N.D.	N.D.

N.D. Données non disponibles à ce moment.

Tableau 2. **Variation des descripteurs non métriques (données morphologiques) du site 17-QU selon la série de sols:** ***(Providence = 90% et Dujour = 10%)***

Descripteur	Classe	Statistiques			
		Providence		Du Jour	
		*f**	*p*	*f*	*p*
Couche de surface (0-30 cm)					
Horizon	Ap	31	0,67	2	0,40
	Apg	15	0,33	3	0,60
Texture	LLiA	3	0,06	0	0,00
	A	16	0,35	2	0,40
	ALi	12	0,26	0	0,00
	ALo	15	0,33	3	0,60
Fragments >2 mm	<5%	35	0,76	3	0,60
	5-15%	11	0,24	2	0,40
Matrice:					
Teinte	10YR	11	0,24	1	0,20
	2,5Y	35	0,76	4	0,80
Valeur	3,0	15	0,33	2	0,40
	3,5	18	0,39	2	0,40
	4,0	13	0,28	1	0,20
Chroma	1,0	7	0,15	0	0,00
	1,5	2	0,04	1	0,20
	2,0	37	0,81	4	0,80
Consistance	Très friable	10	0,22	1	0,20
	Friable	36	0,78	4	0,80
Partie supérieure du sous-sol (30-50 cm)					
Horizon	Bg	45	0,98	4	0,80
	Bgf	1	0,02	1	0,20
Texture	A	5	0,50	-	-
	ALo	5	0,50	-	-
Fragments >2 mm	<5%	26	0,67	2	0,40
	5-15%	13	0,33	3	0,60
Matrice:					
Teinte	2,5Y	1	0,10	-	-
	5,0Y	9	0,90	-	-
Valeur	5,0	10	1,00	-	-
Chroma	1,0	1	0,10	-	-
	2,0	9	0,90	-	-
Marbrures:					
Teinte	10YR	10	1,00	-	-
Valeur	4,0	5	0,50	-	-
	5,0	5	0,50	-	-
Chroma	5,0	1	0,10	-	-
	6,0	9	0,90	-	-
Consistance	Friable	6	0,60	-	-
	Ferme	4	0,40	-	-
Partie inférieure du sous-sol (50-70 cm)					
Horizon	Bg	10	1,00	-	-
Texture	A	4	0,40	-	-
	ALi	3	0,30	-	-
	ALo	3	0,30	-	-
Matrice:					
Teinte	5,0Y	10	1,00	-	-
Valeur	5,0	9	0,90	-	-
	5,5	1	0,10	-	-
Chroma	1,0	5	0,50	-	-
	2,0	5	0,50	-	-
Marbrures:					
Teinte	10YR	10	1,00	-	-
Valeur	4,0	8	0,80	-	-
	4,5	1	0,10	-	-
	5,0	1	0,10	-	-
Chroma	4,0	2	0,20	-	-
	5,0	4	0,40	-	-
	6,0	4	0,40	-	-
Consistance	Friable	7	0,70	-	-
	Ferme	3	0,30	-	-

* *f* fréquence d'occurence de la classe; *p* proportion.

Tableau 3. **Variation des descripteurs métriques (épaisseur et données analytiques) du site 17-QU selon la série de sols:** ***(Providence = 90% et Dujour = 10%)***

Descripteur	Statistiques					
	Providence			Du Jour		
	*n**	*m*	*CV*	*n*	*m*	*CV*
Couche de surface (0-30 cm)						
Épaisseur (cm)	46	29	20	5	28	6
Sable total (%)	46	10,2	44	5	11,7	74
Limon total (%)	46	35,0	28	5	27,5	29
Limon grossier (%)	46	2,4	63	5	1,5	64
Limon moyen (%)	46	12,8	34	5	9,5	36
Limon fin (%)	46	19,8	26	5	16,5	26
Argile totale (%)	46	54,8	16	5	60,8	16
C organique (%)	46	2,93	11	5	3,20	14
pH-eau	46	6,1	6	5	6,1	2
pH-$CaCl_2$	46	5,8	6	5	5,7	3
Ca (cmol kg^{-1})	46	17,33	13	5	17,76	13
Mg (cmol kg^{-1})	46	8,80	16	5	8,20	23
K (cmol kg^{-1})	46	0,57	40	5	0,42	11
Fe-DCB§ (%)	46	2,13	28	5	2,46	35
Al-DCB (%)	46	0,23	18	5	0,24	14
Fe-Oxalate (%)	46	1,16	26	5	1,36	34
Al-Oxalate (%)	46	0,40	20	5	0,46	24
Fe-Pyrophosphate (%)	46	0,17	32	5	0,21	35
Al-Pyrophosphate (%)	46	0,08	36	5	0,09	44
Partie supérieure du sous-sol (30-50 cm)						
Épaisseur (cm)	46	19	12	5	17	21
Sable total (%)	10	5,1	67	0	-	-
Limon total (%)	10	29,8	32	0	-	-
Limon grossier (%)	10	2,0	67	0	-	-
Limon moyen (%)	10	10,3	32	0	-	-
Limon fin (%)	10	17,5	30	0	-	-
Argile totale (%)	10	65,1	17	0	-	-
C organique (%)	10	0,54	62	0	-	-
pH-eau	10	7,0	5	0	-	-
pH-$CaCl_2$	10	6,3	4	0	-	-
Ca (cmol kg^{-1})	10	13,12	14	0	-	-
Mg (cmol kg^{-1})	10	13,11	11	0	-	-
K (cmol kg^{-1})	10	0,46	23	0	-	-
Fe-DCB§ (%)	10	1,73	49	0	-	-
Al-DCB (%)	10	0,20	20	0	-	-
Fe-Oxalate (%)	10	0,64	69	0	-	-
Al-Oxalate (%)	10	0,39	36	0	-	-
Fe-Pyrophosphate (%)	10	0,03	111	0	-	-
Al-Pyrophosphate (%)	10	0,04	48	0	-	-
Partie inférieure du sous-sol (50-70 cm)						
Sable total (%)	10	4,7	79	0	-	-
Limon total (%)	10	36,6	18	0	-	-
Limon grossier (%)	10	2,8	25	0	-	-
Limon moyen (%)	10	13,0	22	0	-	-
Limon fin (%)	10	20,8	17	0	-	-
Argile totale (%)	10	58,7	6	0	-	-
C organique (%)	10	0,19	27	0	-	-
pH-eau	10	7,4	4	0	-	-
pH-$CaCl_2$	10	6,6	3	0	-	-
Ca (cmol kg^{-1})	10	9,63	8	0	-	-
Mg (cmol kg^{-1})	10	12,48	4	0	-	-
K (cmol kg^{-1})	10	0,51	12	0	-	-
Fe-DCB§ (%)	10	1,26	33	0	-	-
Al-DCB (%)	10	0,17	6	0	-	-
Fe-Oxalate (%)	10	0,40	26	0	-	-
Al-Oxalate (%)	10	0,29	17	0	-	-
Fe-Pyrophosphate (%)	10	0,01	37	0	-	-
Al-Pyrophosphate (%)	10	0,02	21	0	-	-

* *n* taille de l'échantillon; *m* moyenne arithmétique; *CV* Coefficient de variation (%).
§ DCB = dithionite-citrate-bicarbonate de sodium

Tableau 4. Variation des descripteurs métriques (épaisseur et données analytiques) de la couche de surface (0-30 cm) du site 17-QU selon l'unité cartographique ***(Phase de texture de la couche de surface)***

Descripteur	Total			Par unité cartographique											
				PV-LLiA *Providence loam limono-argileux*			PV-ALi *Providence argile limoneuse*			PV-A *Providence argile*			PV-ALo *Providence argile lourde*		
	*n**	*m*	*CV*	*n*	*m*	*CV*	*n*	*m*	*CV*	*n*	*m*	*CV*	*n*	*m*	*CV*
Épaisseur (cm)	51	29	20	3	27 *a*	6	9	28 *a*	13	22	29 *a*	17	17	29 *a*	25
Sable total (%)	51	10,3	47	3	8,6 *ab*	10	9	6,7 *a*	23	22	12,9 *b*	44	17	9,2 *ab*	39
Limon total (%)	51	34,3	29	3	52,9 *c*	1	9	46,7 *c*	8	22	32,9 *b*	18	17	26,1 *a*	19
Limon grossier (%)	51	2,3	64	3	4,9 *c*	8	9	2,8 *bc*	35	22	2,6 *b*	52	17	1,1 *a*	80
Limon moyen (%)	51	12,5	35	3	20,7 *c*	2	9	17,0 *c*	12	22	12,1 *b*	27	17	9,1 *a*	26
Limon fin (%)	51	19,5	26	3	27,3 *b*	2	9	26,9 *b*	10	22	18,2 *a*	18	17	15,9 *a*	16
Argile totale (%)	51	55,4	16	3	38,5 *a*	4	9	46,6 *b*	5	22	54,2 *c*	8	17	64,7 *d*	8
C organique (%)	51	2,96	11	3	2,67 *a*	7	9	2,74 *a*	7	22	2,84 *a*	9	17	3,28 *b*	9
pH-eau	51	6,1	6	3	6,0 *a*	7	9	6,1 *a*	5	22	6,2 *a*	6	17	6,0 *a*	5
pH-$CaCl_2$	51	5,8	6	3	5,7 *a*	5	9	5,7 *a*	4	22	5,9 *a*	7	17	5,7 *a*	5
Ca (cmol kg^{-1})	51	17,37	13	3	17,83 *a*	6	9	17,38 *a*	4	22	17,41 *a*	14	17	17,24 *a*	16
Mg (cmol kg^{-1})	51	8,75	17	3	9,17 *a*	4	9	8,63 *a*	11	22	8,75 *a*	20	17	8,72 *a*	18
K (cmol kg^{-1})	51	0,55	40	3	0,47 *a*	11	9	0,48 *a*	40	22	0,57 *a*	47	17	0,58 *a*	33
Fe-DCB§ (%)	51	2,16	29	3	1,72 *ab*	7	9	1,73 *a*	11	22	2,14 *ab*	25	17	2,51 *b*	29
Al-DCB§ (%)	51	0,23	17	3	0,20 *ab*	6	9	0,20 *a*	8	22	0,22 *a*	17	17	0,25 *b*	15
Fe-Oxalate (%)	51	1,18	27	3	0,96 *ab*	10	9	1,01 *a*	10	22	1,13 *ab*	26	17	1,36 *b*	28
Al-Oxalate (%)	51	0,40	21	3	0,38 *ab*	8	9	0,40 *ab*	10	22	0,36 *a*	23	17	0,46 *b*	16
Fe-Pyrophosphate (%)	51	0,17	32	3	0,13 *a*	8	9	0,13 *a*	21	22	0,16 *a*	24	17	0,22 *b*	26
Al-Pyrophosphate (%)	51	0,08	37	3	0,06 *a*	18	9	0,06 *a*	8	22	0,06 *a*	29	17	0,11 *b*	28

* *n* taille de l'échantillon; *m* moyenne arithmétique; *CV* Coefficient de variation (%).

§ DCB = dithionite-citrate-bicarbonate de sodium.

abc Les moyennes suivies par la même lettre à l'intérieur de chaque ligne ne sont pas significativement différentes (P=0,05) tel que déterminé par le test de Tukey-Kramer (Sokal et Rohlf 1981).

DESCRIPTION DU SITE REPÈRE 18-QU (SAINT-ANTOINE)

LOCALISATION DU SITE

Le site repère 18-QU (St-Antoine) est situé dans la partie SE du lot #116 de la Première Concession de la municipalité de St-Antoine-sur-Richelieu, au nord-est du comté de Verchères, à environ 50 km de la ville de Montréal (Tunnel L.-H. Lafontaine) et 5 km au nord du village de St-Antoine (Figure 2). Le Ruisseau Larue longe la parcelle au sud. Une bande riveraine cultivée (plantes fourragères ou céréales) de 10-15 m de largeur le sépare de la parcelle tout en servant de voie de circulation. Voici quelques coordonnées plus précises de la parcelle selon le système de projection Mercator transverse universelle (UTM):

	Coin NE	Centre	Coin SO
Zone	18	18	18
Coordonnée E	643 338	643 125	642 888
Coordonnée N	5 074 413	5 074 588	5 074 763
Longitude O	73°09'19"	73°09'28"	73°10'08"
Latitude N	45°48'37"	45°48'43"	45°48'49"

Dimensions et superficie:
La parcelle mesure exactement 82 x 520 m, soit 4,26 ha. Elle est composée de deux planches (43 et 39 m de largeur) qui ont été nivelées et dont la rigole centrale qui les séparait a été éliminée. Le premier transect d'échantillonnage a été placée à 11 m du fossé de drainage situé au nord de la parcelle. Les deux autres sont respectivement à 30 et 60 m de distance de celui-ci, soit à 11 m de la bande gazonnée qui longe le Ruisseau Larue. La première et la dernière ligne (17ième) d'observation de la grille de référence sont situées à 20 m des bornes délimitant la parcelle.

AGRONOMIE

L'information concernant l'historique de la ferme et de la parcelle ainsi que sur les pratiques culturales en cours a été obtenue par interview et questionnaire.

Description de la ferme

La ferme de Camille et Paul-André Girouard est une ferme céréalière de type familial fonctionnant en société d'exploitation. Elle a été acquise par la famille Girouard en 1930.

D'une superficie totale actuelle de 284 ha, dont 62 ha en location, la ferme comprend 269 ha en culture, 10 ha en boisée et 5 ha en terrains incultes (ravins). Quelques 239 ha sont actuellement drainés souterrainement. Les superficies en culture sont allouées à la production de maïs-grain (40 ha), de soya (90 ha) et de céréales (orge et blé: 90 ha) suivant un plan de rotation semi-aléatoire de 4 ans (Soya-Orge-Maïs-Blé). On y cultive également, sur les parcelles les plus vulnérables à la dégradation, 49 ha de plantes fourragères destinés à la vente pour l'alimentation du bétail. Parmi les autres techniques de conservation qu'on y pratique, notons le travail minimum du sol et l'enfouissement d'engrais vert.

Historique de la parcelle

Le lot (#116) sur lequel se situe la parcelle a été acquis par les propriétaires actuels en 1975. Des travaux de nivellement et de drainage souterrain (écartement moyen de 15 m) ont été effectués en 1976. La séquence des cultures et des principaux travaux réalisés depuis 1960 est la suivante:

Année	Culture / travaux
1995	Maïs-grain *(var. Pioneer 3921 et 3947)* / labour
1994	Soya *(var. Clara)* / chisel
1993	Soya *(var. Clara)* / chisel
1992	Maïs-grain *(var. Pioneer 3953)* / labour
1991	Orge *(var. Chapais)* / chisel
1990	Soya *(var. Apache)* / chisel
1989	Soya *(var. Maple Glen)* / chisel
1988	Maïs-grain *(var. Pioneer 3929)* / labour
1987	Maïs-grain *(var. Pioneer 3921)* / labour
1986	Blé *(var. Max)* / labour
1985	Orge *(var. Léger)* / labour
1984	Maïs-grain / labour
1983	Soya / labour
1982	Céréale / labour
1981	Maïs-grain / labour
1980	Maïs-grain / labour
1979	Céréale / labour
1978	Maïs-grain / labour
1977	Maïs-grain / labour
1976	Céréale / drainage souterrain / nivellement / labour
1975	Céréale / herse
1974	Céréale / herse
1973	Céréale / herse
1972	Céréale / herse
1971	Céréale / herse
1970	Céréale / herse
1969	Foin (4ième année) / labour
1968	Foin (3ième année)
1967	Foin (2ième année)
1966	Foin (1^{ière} année)
1965	Céréale (plante abri)
1964	Foin (4ième année) / labour
1963	Foin (3ième année)
1962	Foin (2ième année)
1961	Foin (1^{ière} année)
1960	Céréale (plante abri)

Pratiques culturales en cours

Séquence typique des travaux aratoires:

Date	Travaux
1ière année: Soya	
Fin-avril	1 passage de vibroculteur
Début-mai	Fertilisation pré-semis
	Incorporation de RIVAL 500-EC
Mi-mai	Semis
Mi-juin	Pulvérisation de BASAGRAN 480-SN
Fin-septembre	Récolte
Mi-octobre	Chisel
2ième et 4ième année: Céréale (orge ou blé)	
Début-mai	Fertilisation pré-semis
	1 passage de vibroculteur
	Semis
Mi-juin	Pulvérisation de DYVEL
Fin-août	Récolte
Mi-septembre	Chisel
3ième année: Maïs-grain	
Début-mai	Fertilisation pré-semis
	1 passage de vibroculteur avec incorporation d'ERADICAL
	Semis + fertilisation
Mi-juin	Pulvérisation de PARTNER
	Sarclage
Fin-octobre	Récolte
	Labour

Machinerie utilisée:

Tracteurs:	Case International M. 7100, 160 CV, 7300 kg
	Case International 895, 85 CV, 5400 kg
	Internatinal 684, 60 CV, 3000 kg
Moisonneuse:	International 1480, 9700 kg
Charrue:	Sesam Overum, 5 versoirs de 14 pouces
Vibroculteur:	International 45, largeur: 20 pieds
Épandeur:	Tote, à hélice, capacité: 3 tonnes
Semoir:	International press dill 620
Planteur:	International Cyclo 400
Pulvérisateur:	Vicon, capacité: 400 gallons
Faucheuse:	John Deere 1209, à disque, largeur: 9 pieds
Presse:	Massey Ferguson 224

DESCRIPTION DES SOLS ET DU PAYSAGE

Sur la carte détaillée (échelle 1:20 000) des sols du comté de Verchères (Lamontagne et Nolin 1990), le site satellite 18-QU occupe une partie du polygone # 90 (**PV5** - *Providence, argile limoneuse*).

Caractéristiques topographiques

Le levé topométrique très détaillé a révélé une très faible dénivellation du terrain, l'altitude variant entre 15,0 (coin NE) et 17,5 m (coin SO) à l'intérieur de la parcelle (Figure 5), soit une pente d'environ 0,0025%.

Caractéristiques pédologiques

Trois unités cartographiques ont été identifiées lors du levé pédologique très détaillé (échelle 1: 2500) sur la base de la texture de la couche de surface:

Symbole	*Désignation de l'unité*
PV-LLiA	*Providence, loam limono-argileux*
PV-ALi	*Providence, argile limoneuse*
PV-A	*Providence, argile*

Ces unités sont composées à 100% des sols de la série de Providence (Figure 6). Aucune inclusion d'autres sols n'a en effet été observée lors du levé pédologique.

Description d'un pédon représentatif:

Un pédon représentatif de la série de Providence a été échantillonné sur le site 18-QU au point #26 de la grille de référence (45°48'43" lat. N., 73°09'28" long. O.). Voici sa description :

Hor.	Prof. (cm)	Description
Ap	0-33	Argile; brun grisâtre très foncé (2,5Y 3/2); structure polyédrique subangulaire, fine, peu développée; consistance friable; assez poreuse; limite nette, ondulée; réaction faiblement acide.
Bg1	33-52	Argile limoneuse; brun grisâtre (2,5Y 5/2); mouchetures brun jaunâtre foncé (10YR 4/6), très nombreuses, petites, très contrastées; sans structure (massive); consistance ferme; peu poreuse; présence de taches de manganèse; limite graduelle, régulière; réaction faiblement acide.
Bg2	52-70	Argile; brun grisâtre (2,5Y 5/2); mouchetures brun jaunâtre (10YR 5/6), très nombreuses, petites, très contrastées; sans structure (massive); consistance ferme; peu poreuse; présence de taches de manganèse; limite nette, régulière; réaction neutre.
BCg	70-90	Argile lourde; gris olivâtre (5Y 5/2); mouchetures brun jaunâtre foncé (10YR 4/5), très nombreuses, moyennes, très contrastées; structure polyédrique subangulaire, fine, modérément développée; consistance friable; peu poreuse; présence de taches de manganèse; limite graduelle, régulière; réaction neutre.
Cg	90 et +	Argile lourde; gris olivâtre (5Y 5/2); mouchetures brun jaunâtre foncé (10YR 4/4), très nombreuses, petites, très contrastées; sans structure (massive); consistance ferme; peu poreuse; présence de taches de manganèse; réaction faiblement alcaline.

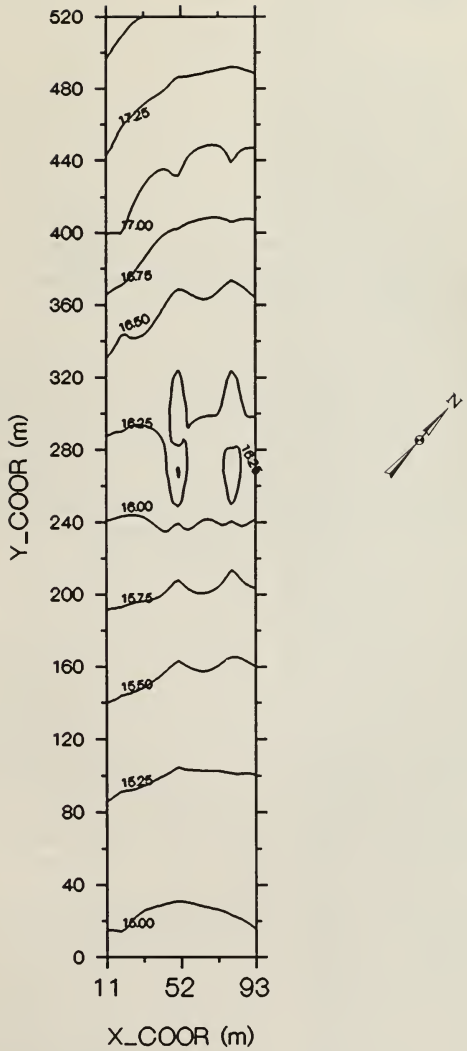
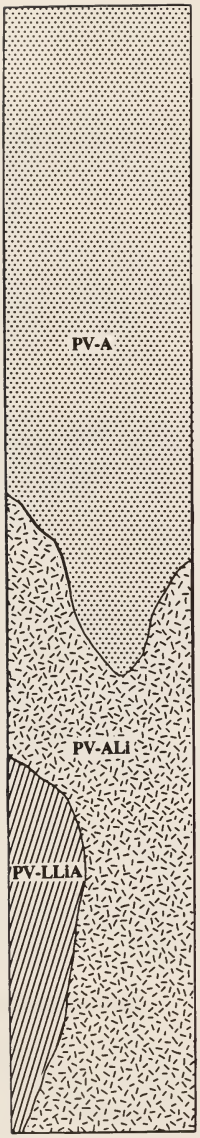


Figure 5. Carte topographique très détaillée (cotes d'altitude à intervalle de 0,25 m) du site repère 18-QU (Saint-Antoine)



LÉGENDE

Symbole	*Désignation de l'unité*
PV-LLiA	*Providence, loam limono-argileux*
PV-ALi	*Providence, argile limoneuse*
PV-A	*Providence, argile*

ÉCHELLE

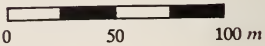


Figure 6. Carte pédologique très détaillée du site satellite 18-QU (Saint-Antoine)

Tableau 5. Caractéristiques physico-chimiques du pédon représentatif du site 18-QU (Point #26):

Horizon	Profondeur	Fragments grossiers	Fractions sableuses					Sable total	Limon total	Argile totale	Surface spécifique	pH	
			STG	SG	SM	SF	STF					Eau	$CaCl_2$
		> 2 mm	2-1 mm	1-0,5 mm	0,5-0,25 mm	0,25-0,1 mm	0,1-0,05 mm	2-0,05 mm	0,05-0,002 mm	< 0,002 mm			
	(cm)	(%)	(%)					(%)			(m^2 g^{-1})		
Ap	0-33	*traces*	1,4	2,8	3,3	5,1	0,6	15,2	39,0	45,8	135	6,2	5,8
Bg1	33-52	*traces*	0,1	0,4	0,7	0,7	0,6	2,7	49,3	48,0	177	6,2	5,7
Bg2	52-70	*traces*	0,2	0,4	0,8	0,4	0,7	2,5	38,3	59,2	175	6,8	6,2
BCg	70-90	*traces*	0,1	0,2	0,6	0,5	0,0	1,4	30,9	67,7	163	7,3	6,7
Cg	90 +	*traces*	0,1	0,3	0,5	0,5	0,1	1,5	34,7	63,8	146	7,4	6,7

Horizon	C organique	N total	DCB		Oxalate		Pyrophosphate		Bases échangeables			Charge permanente de la CEC	K disp.	P disp.
			Al	Fe	Al	Fe	Al	Fe	Ca	Mg	K			
	(%)	(%)	(%)		(%)		(%)		(cmol kg^{-1})			(cmol kg^{-1})	(mg kg^{-1})	
Ap	3,77	0,288	0,47	2,12	0,69	1,32	0,29	0,29	17,50	2,90	0,62	21,02	311	N.D.
Bg1	0,51	0,054	0,25	1,89	0,39	0,82	0,04	0,07	13,10	7,70	0,42	21,22	206	N.D.
Bg2	0,29	0,032	0,21	1,35	0,39	0,49	0,02	0,02	11,80	10,30	0,44	22,54	247	N.D.
BCg	0,12	0,024	0,20	1,05	0,31	0,36	0,02	0,02	9,90	10,70	0,66	21,26	359	N.D.
Cg	0,11	0,023	0,20	1,01	0,31	0,41	0,02	0,02	8,50	10,00	0,82	19,32	378	N.D.

Horizon	Analyse élémentaire totale													
	Al	Fe	Co	Mg	K	Cd	Co	Cr	Co	Li	Mn	Ni	Pb	Zn
	(%)					(mg kg^{-1})								
Ap	13,10	6,43	1,24	1,32	2,14	4	48	240	48	26	2250	78	24	173
Bg1	12,40	6,26	1,19	2,51	2,51	3	45	204	43	14	1190	82	14	110
Bg2	12,40	5,85	1,38	1,68	2,46	3	44	174	70	14	1600	91	24	110
BCg	12,20	5,71	1,54	1,83	2,51	3	41	228	55	21	895	89	14	108
Cg	12,40	5,91	1,75	1,93	2,66	3	43	135	77	20	903	90	23	118

Horizon	Profondeur des cylindres	Densité apparente	Rétention d'eau sous une tension de								
			0 cm	10 cm	10 cm	60 cm	100 cm	330 cm	1000 cm	4000 cm	15000 cm
	(cm)	(g cm^{-3})	(%)								
Ap	1-7	0,98	66,00	52,50	42,60	40,00	38,90	38,96	35,08	N.D.	N.D.
	22-28	1,14	52,62	46,12	39,62	38,04	37,30	37,28	34,20	N.D.	N.D.
Bg1	33-39	1,36	39,70	38,04	33,42	32,72	32,18	31,80	30,26	N.D.	N.D.
Bg2	55-61	1,35	43,44	40,00	37,16	35,90	35,10	34,52	32,46	N.D.	N.D.
BCg	70-76	1,35	43,23	39,55	36,73	35,70	35,13	35,08	32,65	N.D.	N.D.
Cg	94-100	1,32	43,60	39,43	37,10	36,30	35,80	35,48	33,70	N.D.	N.D.

N.D. Données non disponibles à ce moment.

Tableau 6. **Variation des descripteurs non métriques (données morphologiques) du site 18-QU selon la série de sols *(Providence = 100%)***

Descripteur	Classe	Statistiques	
		*f**	*p*
Couche de surface (0-30 cm)			
Horizon	Ap	51	1,00
Texture	LLiA	5	0,10
	A	28	0,55
	ALi	18	0,35
Fragments >2 mm	<5%	51	1,00
Matrice:			
Teinte	2,5Y	51	1,00
Valeur	3,0	15	0,29
	3,5	21	0,42
	4,0	15	0,29
Chroma	1,0	2	0,04
	2,0	49	0,56
Consistance	Friable	51	1,00
Partie supérieure du sous-sol (30-50 cm)			
Horizon	Bg	50	0,98
	Bgf	1	0,02
Texture	A	4	0,40
	ALi	6	0,60
Fragments >2 mm	<5%	51	1,00
Matrice:			
Teinte	2,5Y	12	1,00
Valeur	5,0	12	1,00
Chroma	2,0	12	1,00
Marbrures:			
Teinte	10YR	12	1,00
Valeur	4,0	9	0,75
	5,0	3	0,25
Chroma	5,0	5	0,42
	6,0	6	0,50
	8,0	1	0,08
Consistance	Friable	10	0,83
	Ferme	2	0,17
Partie inférieure du sous-sol (50-70 cm)			
Horizon	Bg	12	1,00
Texture	A	6	0,60
	ALi	1	0,10
	ALo	3	0,30
Matrice:			
Teinte	2,5Y	8	0,67
	5,0Y	4	0,33
Valeur	4,5	1	0,08
	5,0	9	0,75
	5,5	2	0,17
Chroma	2,0	12	1,00
Marbrures:			
Teinte	10YR	12	1,00
Valeur	4,0	10	0,83
	5,0	2	0,17
Chroma	5,0	7	0,58
	6,0	5	0,42
Consistance	Friable	7	0,58
	Ferme	5	0,42

* *f* fréquence de la classe; *p* proportion.

Tableau 7. **Variation des descripteurs métriques (épaisseur et données analytiques) du site 18-QU selon la série de sols *(Providence = 100%)***

Descripteur	Statistiques		
	*n**	*m*	*CV*
Couche de surface (0-30 cm)			
Épaisseur (cm)	51	32	11
Sable total (%)	51	13,4	26
Limon total (%)	51	40,2	18
Limon grossier (%)	51	2,9	54
Limon moyen (%)	51	14,5	19
Limon fin (%)	51	22,8	16
Argile totale (%)	51	46,4	11
C organique (%)	51	2,90	27
pH-eau	51	6,3	6
pH-$CaCl_2$	51	5,8	7
Ca (cmol kg^{-1})	51	15,63	13
Mg (cmol kg^{-1})	51	4,37	22
K (cmol kg^{-1})	51	0,77	22
Fe-DCB§ (%)	51	2,07	27
Al-DCB (%)	51	0,37	52
Fe-Oxalate (%)	51	1,22	34
Al-Oxalate (%)	51	0,55	53
Fe-Pyrophosphate (%)	51	0,17	53
Al-Pyrophosphate (%)	51	0,17	90
Partie supérieure du sous-sol (30-50 cm)			
Épaisseur (cm)	51	19	12
Sable total (%)	10	5,3	32
Limon total (%)	10	41,4	10
Limon grossier (%)	10	2,6	38
Limon moyen (%)	10	13,7	16
Limon fin (%)	10	25,1	7
Argile totale (%)	10	53,3	6
C organique (%)	10	0,47	17
pH-eau	10	6,7	6
pH-$CaCl_2$	10	6,2	7
Ca (cmol kg^{-1})	10	15,72	15
Mg (cmol kg^{-1})	10	8,64	9
K (cmol kg^{-1})	10	0,48	9
Fe-DCB§ (%)	10	1,45	17
Al-DCB (%)	10	0,21	13
Fe-Oxalate (%)	10	0,61	27
Al-Oxalate (%)	10	0,35	9
Fe-Pyrophosphate (%)	10	0,04	43
Al-Pyrophosphate (%)	10	0,03	21
Partie inférieure du sous-sol (50-70 cm)			
Sable total (%)	10	3,6	19
Limon total (%)	10	37,9	5
Limon grossier (%)	10	2,0	40
Limon moyen (%)	10	12,6	10
Limon fin (%)	10	23,3	4
Argile totale (%)	10	58,5	3
C organique (%)	10	0,21	22
pH-eau	10	7,1	4
pH-$CaCl_2$	10	6,5	3
Ca (cmol kg^{-1})	10	12,48	9
Mg (cmol kg^{-1})	10	11,00	5
K (cmol kg^{-1})	10	0,51	9
Fe-DCB§ (%)	10	1,22	7
Al-DCB (%)	10	0,19	13
Fe-Oxalate (%)	10	0,43	10
Al-Oxalate (%)	10	0,32	7
Fe-Pyrophosphate (%)	10	0,02	19
Al-Pyrophosphate (%)	10	0,02	22

* *n* taille de l'échantillon; *m* moyenne arithmétique; *CV* Coefficient de variation (%).
§ DCB = dithionite-citrate-bicarbonate de sodium

Tableau 8. Variation des descripteurs métriques (épaisseur et données analytiques) de la couche de surface (0-30 cm) du site 18-QU selon l'unité cartographique *(Phase de texture de la couche de surface)*

Descripteur	Total			Par unité cartographique								
				PV-LLiA *Providence loam limono-argileux*			PV-ALi *Providence argile limoneuse*			PV-A *Providence argile*		
	*n**	*m*	*CV*	*n*	*m*	*CV*	*n*	*m*	*CV*	*n*	*m*	*CV*
Épaisseur (cm)	51	32	11	4	35 *a*	8	20	31 *a*	10	27	31 *a*	11
Sable total (%)	51	13,4	26	4	8,6 *a*	10	20	11,1 *a*	16	27	15,8 *b*	17
Limon total (%)	51	40,2	18	4	56,1 *c*	4	20	44,7 *b*	7	27	34,5 *a*	6
Limon grossier (%)	51	2,9	54	4	4,8 *b*	21	20	3,5 *a*	33	27	2,1 *a*	66
Limon moyen (%)	51	14,5	19	4	20,7 *c*	7	20	16,0 *b*	9	27	12,5 *a*	5
Limon fin (%)	51	22,8	16	4	30,6 *c*	8	20	25,2 *b*	6	27	19,9 *a*	7
Argile totale (%)	51	46,4	11	4	35,3 *a*	8	20	44,2 *a*	5	27	49,7 *b*	5
C organique (%)	51	2,90	27	4	1,75 *a*	5	20	2,44 *b*	12	27	3,42 *c*	19
pH-eau	51	6,3	6	4	7,0 *c*	1	20	6,4 *b*	4	27	6,1 *a*	6
pH-$CaCl_2$	51	5,8	7	4	6,4 *c*	1	20	5,9 *b*	5	27	5,6 *a*	6
Ca (cmol kg^{-1})	51	15,63	13	4	17,63 *b*	5	20	16,39 *b*	11	27	14,77 *a*	13
Mg (cmol kg^{-1})	51	4,37	22	4	5,75 *b*	5	20	5,12 *b*	12	27	3,61 *a*	12
K (cmol kg^{-1})	51	0,77	22	4	0,76 *a*	7	20	0,72 *a*	19	27	0,82 *a*	23
Fe-DCB§ (%)	51	2,07	27	4	1,44 *a*	5	20	1,65 *a*	15	27	2,48 *b*	16
Al-DCB§ (%)	51	0,37	52	4	0,19 *a*	18	20	0,23 *a*	25	27	0,49 *b*	37
Fe-Oxalate (%)	51	1,22	34	4	0,64 *a*	14	20	0,92 *a*	25	27	1,53 *b*	17
Al-Oxalate (%)	51	0,55	53	4	0,32 *a*	6	20	0,37 *a*	16	27	0,73 *b*	42
Fe-Pyrophosphate (%)	51	0,17	53	4	0,06 *a*	11	20	0,11 *a*	22	27	0,24 *b*	32
Al-Pyrophosphate (%)	51	0,17	90	4	0,03 *a*	0	20	0,06 *a*	33	27	0,28 *b*	53

* *n* taille de l'échantillon; *m* moyenne arithmétique; *CV* Coefficient de variation (%).

§ DCB = dithionite-citrate-bicarbonate de sodium.

abc Les moyennes suivies par la même lettre à l'intérieur de chaque ligne ne sont pas significativement différentes (P=0,05) tel que déterminé par le test de Tukey-Kramer (Sokal et Rohlf 1981).

COMPARAISON DES DONNÉES DE BASE DES SITES 17-QU (ST-MARC) ET 18-QU (ST-ANTOINE)

La comparaison des données de base de ces deux sites vise deux objectifs distincts:

1- vérifier la similarité pédologique des sites et
2- effectuer une évaluation préliminaire de l'effet des deux types de rotation en cause (rotation de plantes annuelles et de plantes fourragères dans le cas du site 17-QU *vs* rotation de plantes annuelles dans le cas du site 18-QU) sur quelques indicateurs de la qualité des sols au temps t_0 (*i.e.* en 1989).

SIMILARITÉ PÉDOLOGIQUE

La similarité pédologique des deux sites est déduite en examinant les résultats de l'inventaire résumés dans les cartes pédologiques très détaillées présentées aux figures 4 et 6 ainsi que les données analytiques présentées dans les tableaux statistiques (1 à 8). Les éléments considérés sont alors:

1- la pureté taxonomique des sites et
2- la variation granulométrique des trois couches de sol étudiées.

Pureté taxonomique des sites

Sur le plan taxonomique, les deux sites sont relativement comparables bien que le site 18-QU présente une pureté taxonomique supérieure (100%) à celle du site 17-QU où quelques inclusions de sols de la série Du Jour ont été observées (10%). Selon les normes canadiennes (Coen 1987), ces sols sont considérés semblables à ceux de la série de Providence, car leurs propriétés sont soit identiques ou appartiennent à deux classes qui ont une limite commune. De plus, les interprétations pour la plupart des utilisations courantes sont semblables pour ces deux séries de sols. La présence de ces inclusions de sols dans les unités cartographiques explique en partie la variation granulométrique observée dans les deux premières couches de sol du site 17-QU.

Variation granulométrique des couches de sol

Des descripteurs pédologiques étudiés de façon systématique à l'intérieur du site au temps t_0, les composantes de la granulométrie (contenu total en sable, limon et argile ainsi que les différentes fractions de limon) sont les seuls qui peuvent être classés comme **propriétés permanentes**, *i.e.* des caractéristiques qui sont héritées du matériau parental et qui ne sont pas modifiées subséquemment sous l'action des plantes, des techniques d'aménagement et des façons culturales.

Le contenu moyen en argile de la couche de surface et de la partie supérieure du sous-sol (30-50 cm) pour l'ensemble des profils échantillonnés sur le site 17-QU était plus élevé que celui des profils prélevés dans le site 18-QU. C'était le cas inverse pour le contenu total en limon, le contenu en sable étant relativement semblable (Tableaux 3 et 7). En fait, la texture de la couche de surface variait du LLiA à ALo dans le site 17-QU et de LLiA à A dans le site 18-QU. De même, la texture de la partie supérieure du sous-sol variait de A à ALo dans le site 17-QU et de ALi à A dans le site 18-QU. La partie inférieure du sous-sol (50-70 cm) présentait une variation texturale semblable dans les deux sites (ALi à ALo). Les sols du site 17-QU se sont donc développés sur un matériau argileux plus lourd que celui des sols du site 18-QU (concept modal de la série de Providence).

Une stratification des deux parcelles à l'étude selon la texture de la couche de surface a donc été rendue nécessaire afin d'établir une base comparative scientifiquement acceptable pour l'évaluation de la qualité des sols dans les deux types de rotation. L'examen de la variation des descripteurs physico-chimiques de la couche de surface selon les unités cartographiques (phase de texture) montre bien que la cartographie très détaillée a permis de diminuer la variabilité (CV) de l'ensemble des descripteurs pédologiques, particulièrement ceux de la granulométrie (Tableaux 4 et 8). Et, ce qui est plus important, il est alors possible de comparer les deux sites (17-QU et 18-QU) car le contenu moyen en sable, limon et argile de chaque unité cartographique correspondante est relativement semblable (Tableau 9). Une partie du site 17-QU, occupée par l'unité **PV-ALo** n'a cependant pas d'équivalent dans le site 18-QU et ne pourra donc être considérée dans la comparaison des deux sites, de même que les unités **PV-LLiA** qui ont une trop petite taille.

Tableau 9. Comparaison statistique (test-*t*) des descripteurs métriques (épaisseur et données analytiques) de la couche de surface (0-30 cm) selon le site (17-QU *vs* 18-QU) et l'unité cartographique *(Phase de texture de la couche de surface)*

Descripteur	Total			Par unité cartographique								
				PV-LLiA *Providence loam limono-argileux*			PV-ALi *Providence argile limoneuse*			PV-A *Providence argile*		
	m_{17}* $n=51$	m_{18}* $n=51$	P ¶	m_{17}* $n=3$	m_{18}* $n=4$	P ¶	m_{17}* $n=9$	m_{18}* $n=20$	P ¶	m_{17}* $n=22$	m_{18}* $n=27$	P ¶
Épaisseur (cm)	29	32	0,003	27	35	0,009	28	31	0,032	29	31	0,056
Sable total (%)	10,3	13,4	<0,001	8,6	8,6	0,980	6,7	11,1	<0,001	12,9	15,8	0,020
Limon total (%)	34,3	40,2	0,001	52,9	56,1	0,063	46,7	44,7	0,141	32,9	34,5	0,203
Limon grossier (%)	2,3	2,9	0,071	4,9	4,8	0,950	2,8	3,5	0,149	2,6	2,1	0,156
Limon moyen (%)	12,5	14,5	0,005	20,7	20,7	0,947	17,0	16,0	0,140	12,1	12,5	0,517
Limon fin (%)	19,5	22,8	<0,001	27,3	30,6	0,088	26,9	25,2	0,044	18,2	19,9	0,017
Argile totale (%)	55,4	46,4	<0,001	38,5	35,3	0,127	46,6	44,2	0,023	54,2	49,7	<0,001
C organique (%)	2,96	2,90	0,643	2,67	1,75	<0,001	2,74	2,44	0,010	2,84	3,42	<0,001
pH-eau	6,1	6,3	0,044	6,0	7,0	0,004	6,1	6,4	0,035	6,2	6,1	0,233
pH-$CaCl_2$	5,8	5,8	0,527	5,7	6,4	0,004	5,7	5,9	0,071	5,9	5,6	0,029
Ca (cmol kg^{-1})	17,37	15,63	<0,001	17,83	17,63	0,793	17,38	16,39	0,131	17,41	14,77	<0,001
Mg (cmol kg^{-1})	8,75	4,37	<0,001	9,17	5,75	<0,001	8,63	5,12	<0,001	8,75	3,61	<0,001
K (cmol kg^{-1})	0,55	0,77	<0,001	0,47	0,76	0,001	0,48	0,72	0,001	0,57	0,82	<0,001
Fe-DCB§ (%)	2,16	2,07	0,410	1,72	1,44	0,010	1,73	1,65	0,387	2,14	2,48	0,015
Al-DCB§ (%)	0,23	0,37	<0,001	0,20	0,19	0,471	0,20	0,23	0,174	0,22	0,49	<0,001
Fe-Oxalate (%)	1,18	1,22	0,561	0,96	0,64	0,007	1,01	0,92	0,237	1,13	1,53	<0,001
Al-Oxalate (%)	0,40	0,55	0,001	0,38	0,32	0,013	0,40	0,37	0,211	0,36	0,73	<0,001
Fe-Pyrophosphate (%)	0,17	0,17	0,927	0,13	0,06	<0,001	0,13	0,11	0,036	0,16	0,24	<0,001
Al-Pyrophosphate (%)	0,08	0,17	<0,001	0,06	0,03	<0,001	0,06	0,06	0,521	0,06	0,28	<0,001

* m_{17} = moyenne arithmétique pour le site 17-QU; m_{18} = moyenne arithmétique pour le site 18-QU; n = taille de l'échantillon.

¶ P = Probabilité que la différence entre les moyennes des deux sites soit le résultat du hasard tel que déterminée par un test-*t* pour groupes de taille inégale (Sokal et Rohlf 1981).

§ DCB = dithionite-citrate-bicarbonate de sodium.

COMPARAISON DE QUELQUES INDICATEURS DE LA QUALITÉ DES SOLS AU TEMPS t_o

Les caractéristiques des terres que l'on qualifie généralement de **modifiables**, *i.e.* celles qui peuvent être affectées par l'activité humaine, sont généralement de bons **indicateurs** de l'état et de l'évolution de la qualité des sols. Parmi les descripteurs pédologiques étudiés de façon systématique à l'intérieur de chacun des deux sites au temps t_o, le contenu en C organique, en éléments nutritifs (Ca-, Mg- et K-échangeable) et la réaction du sol (pH-eau et pH-$CaCl_2$) appartiennent à cette catégorie. Ce sont des indicateurs directs ou indirects de trois éléments (**qualités élémentaires**) importants dans la définition de la "**qualité globale**" d'un sol:

1- l'équilibre biologique du sol,
2- la fertilité du sol et
3- la qualité structurale du sol.

Ces trois qualités élémentaires sont fortement corrélées entre elles. La microflore joue en effet un rôle primordial dans la formation du sol: altération et dissolution des minéraux, décomposition et humification de la matière organique, formation des agrégats et stabilité de la structure (N'Dayegamiye 1991). Elle contribue donc significativement à la nutrition des plantes, notamment par les processus de minéralisation de la matière organique, par l'ammonification et la nitrification grâce auxquels l'azote, le phosphore et le soufre organique deviennent disponibles aux plantes (N'Dayegamiye 1991).

D'autre part, une bonne structure favorise une bonne aération et par le fait, une prolifération de la microflore aérobique du sol. De même, un contenu adéquat en matière organique, un bon équilibre des éléments nutritifs dans le sol et une réaction voisinant la neutralité, signes indéniables d'une bonne fertilité du sol, sont essentiels à la croissance optimale de la microflore (N'Dayegamiye 1991).

Le chaulage, la fertilisation équilibrée intégrant l'apport d'amendements organiques (fumiers, composts, engrais verts, *etc.*), les rotations incluant les légumineuses et un bon travail du sol contribuent à maintenir à la fois l'équilibre biologique, nutritif et structural des sols (N'Dayegamiye et coll. 1991).

Réaction du sol

La réaction du sol est un indicateur important de la fertilité du sol puisqu'il traduit l'état d'équilibre des éléments nutritifs du sol ainsi que les conditions de viabilité des microorganismes.

La réaction du sol est légèrement plus acide dans le site 17-QU (pH-eau = 6,1) que dans le site 18-QU (pH-eau = 6,3) (Tableau 9). Or, l'étude de la variabilité intra-parcellaire de la réaction du sol dans le site 18-QU a indiqué la présence d'une forte structure spatiale (Wang et coll. 1994). On observe en effet une différence significative entre les valeurs moyennes de la réaction du sol des trois unités cartographiques: *PV-LLiA* > *PV-Ali* > *PV-A* (Tableau 8). Wang et coll. (1994) attribue une partie de cette différence à la micro-topographie du site. La présence d'un cordon fluvial étroit au centre de la parcelle semble influencer la dynamique d'écoulement de l'eau, le régime hydrique du sol ainsi que plusieurs caractéristiques physico-chimiques dépendantes. Cependant, la délimitation du site 17-QU en unités cartographiques sur la base de la texture de surface n'a pas entraîné de différences significatives ($P = 0,05$) au niveau de la réaction du sol (Tableau 4). En portant la comparaison des deux sites au niveau des unités cartographiques correspondantes (Tableau 9), on observe des différences significatives ($P = 0,05$) de la réaction du sol (pH-eau) de la couche de surface pour les unités *PV-LLiA* et *PV-ALi*. En général, au temps t_o, la culture de plantes annuelles pratiquée dans le site 18-QU semble avoir entraîné une acidification comparativement à la rotation incluant des plantes fourragères pratiquée sur le site 17-QU.

Contenu en matière organique

La comparaison du contenu en C organique de la couche de surface pour l'ensemble des deux sites n'indique pas de différence significative au seuil $P = 0,05$, avec respectivement des valeurs moyennes de 2,96% et 2,90% dans les sites 17-QU et 18-QU (Tableau 9). Cependant, lorsque la comparaison porte sur les unités cartographiques jumelées, on constate que le contenu en C organique varie significativement ($P = 0,05$) selon la phase de texture de surface dans chacun des sites. Plus le contenu en argile est élevé, plus grand est le contenu en C organique. Ceci confirme le rôle important de la fraction argileuse dans la conservation de l'humus (Carrier 1988).

On ne peut tirer une conclusion catégorique pour l'ensemble de la parcelle quant à l'effet du type de rotation sur le contenu en C organique de la couche de surface au temps t_0. En effet pour l'unité *PV-ALi*, le contenu en C organique était plus élevé dans le site 17-QU (2,74%) que dans le site 18-QU (2,44%). Il en est de même pour l'unité *PV-LLiA*. Par contre, l'ordre était l'inverse pour l'unité cartographique *PV-A* avec une valeur de 2,84% pour le site 17-QU et de 3,42% pour 18-QU. La variabilité spatiale observée dans ces sites prédomine donc sur l'effet des rotations comme l'indiquent les résultats de l'analyse géostatistique (Wang et coll. 1994) et des tests d'homogénéité de la variance de Bartlett qui invitent à la prudence dans l'interprétation des conclusions de l'analyse de variance, à cause du non-respect des postulats à la base de cette analyse.

Contenu en bases échangeables

L'influence de la gestion des sols, particulièrement de la fertilisation minérale et organique et du chaulage sur le contenu en bases échangeables est plus ou moins marquée selon le cation en cause. Généralement, elle est plus importante sur le K-éch. influencé par la fertilisation potassique annuelle que sur le Ca-éch. et le Mg-éch. qui sont surtout modifiés par l'ajout occasionnel de chaux.

Aucune différence significative (P=0,05) n'a été observée entre les quatre unités cartographiques du site 17-QU quant au contenu de la couche de surface en bases échangeables. Ce n'était pas le cas dans le site 18-QU où on a observé un contenu plus élevé en Ca-éch. (P=0,01) et Mg-éch. (P=0,001) avec l'augmentation du contenu en argile de la couche de surface, soit *PV-LLiA* ≥ *PV-Ali* > *PV-A*. Aucune différence significative n'a cependant été observée au seuil P=0,05 entre les unités pour le K-éch. de la couche de surface.

L'influence du type de rotation et du type de gestion particulier qui se rattache aux précédents culturaux associés à ces rotations (prairie *vs* maïs-grain) a été significatif sur le contenu en bases échangeables de la couche de surface tant pour la comparaison globale des deux sites (n=51) que pour la comparaison individuelle de chaque unité cartographique (Tableau 9). Ainsi, la teneur en Ca-éch. et en Mg-éch. est plus élevé dans le site 17-QU que dans le site 18-QU (P=0,001). Une relation inverse a cependant été observée pour le K-éch..

Formes de Fe et Al libres

Les diverses formes de Fe et Al libres ont jusqu'ici surtout intéressé les pédologues qui les analysaient pour comprendre les différents processus d'évolution génétique des sols: altération, chélation, mobilisation, podzolisation, gleyification, *etc.*. Cependant leur utilité comme indicateurs de la qualité des sols, particulièrement de la fertilité, ne cesse de s'accroître. C'est ainsi le cas des formes de Fe et Al extraites à l'oxalate d'ammonium qui ont été utilisées dans les fonctions de pédo-transfert pour prédire la capacité d'adsorption et de désorption des phosphates dans le sol (Breeuwsma et coll. 1986).

Les tableaux 4 et 8 indiquent clairement que les diverses formes de Fe et Al libres sont significativement dépendantes de la texture de la couche de surface, le contenu s'accroissant avec l'augmentation du contenu en argile de l'unité cartographique. On ne peut tirer de conclusions claires quant à la comparaison des sites 17-QU et 18-QU (Tableau 9). Il semble à priori que les différences significatives observées entre les sites soient reliées à des facteurs autres que le contenu en argile et le système cultural. La variation spatiale du régime hydrique des sols imposée par la micro-topographie particulière de chaque site (Wang et coll. 1994) explique peut-être ces résultats.

CONCLUSIONS

La variabilité spatiale de la texture de la couche de surface (Ap) explique une bonne partie des variations des descripteurs physico-chimiques étudiés au temps t_0. Une étude comparative jumelée selon l'unité cartographique s'est donc avérée nécessaire pour évaluer l'effet du type de rotation sur les indicateurs de la qualité des sols présentés dans ce rapport. De plus, l'étude de Wang et coll. (1994) basée sur l'utilisation des techniques géostatistiques a souligné l'importance de la micro-topographie comme facteur pouvant expliquer la variation locale de plusieurs indicateurs dans le site 18-QU. La variabilité spatiale intra-parcellaire devra donc être étudiée pour l'ensemble des indicateurs et des sites repères du réseau national de surveillance de la qualité des sol et si l'on veut interpréter avec précision et fiabilité l'évolution temporelle de la qualité des sols. Dans les prochains rapports plusieurs autres indicateurs de la qualité des sols seront étudiés quant à leur évolution spatio-temporelle.

BIBLIOGRAPHIE

Angers, D.A. et Mehuys, G.R. 1988. Effects of cropping on macro-aggregation of a marine clay soil. Can. J. Soil Sci. **68**: 723-732.

Anonyme, 1991. Programme d'évaluation de la qualité du sol. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada. Saskatoon, Saskatchewan.

Baker, G.H. et Lee, K.E. 1993. Earthworms. Pages 359-371 *in* M.R. Carter, ed. Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

Billot, J.-F. 1982. Les applications agronomiques de la pénétrométrie à l'étude de la structure des sols travaillés. Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural. Sci. Sol. No 3 : 187-202.

Bourget, S.J. et Kemp, J.G. 1957. Wet sieving apparatus for stability analysis of soil aggregates. Can. J. Soil Sci. **37**: 60-61.

Breeuwsma, A., Wösten, J.H.M., Vleeshouwer, J.J., van Slobbe, A.M. et Bouma, J. 1986. Derivation of land qualities to assess environmental problems from soil surveys. Soil Sci. Soc. Am. J. **50**: 186-190.

Carrier, D. 1988. La matière organique du sol. Agrosol 1(1):15-20.

Cihacek, L.J. et Bremner, J.M. 1979. A simplified ethylene glycol monoethyl ether procedure for assessment of surface area. Soil Sci. Soc. Am. J. **43**: 821-822.

Coen, G.M. 1987. Déroulement des prospections pédologiques. Section 400 *in* G.M. Coen, ed. Manuel de prospections pédologiques. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada. CRT Contr. No 85-30. Ottawa.

Coote, D.R. 1991. Critères de qualité du sol dans le contexte de l'Est du Canada. Pages 6-18 *in* S.P. Mathur et C. Wang, eds. Qualité des sols dans le contexte canadien - 1988. Documents d'examen. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada. CRT Contr. No 89-12. Ottawa.

Direction de l'assurance-récolte 1991a. Procédure des récoltes de grande culture selon le système collectif. R.A.A.Q.

Direction de l'assurance-récolte 1991b. Procédure des céréales et protéagineuses. R.A.A.Q.

Direction de l'assurance-récolte 1991c. Procédure du maïs-grain. R.A.A.Q.

Dubé, P.A. et Chevrette, J.E. 1981. Atlas agroclimatique du Québec méridional, données dérivées de la température. Rédigé avec la collaboration de Paul Lamb du Service de la météorologie du Québec. CPVQ. MAPAQ Agdex 070. 2 pp. 16 cartes.

Dubé, P.A., Castonguay, Y., Côté, J. et Léonard, R. 1984. Réévaluation de la distribution des unités-thermiques-maïs au Québec. CPVQ. MAPAQ. Bulletin technique No. 7. 49 pp.

Kemper, W.D. et Chepil, W.S. 1965. Size distribution of aggregates. Pages 499-510 *in* C.A. Black et al. (ed.). Methods of soil analysis, Part 1

Kodama, H., Scott, G.C. et Miles, N.M. 1977. X-ray quantitative analysis of minerals in soils. Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa.

Knudsen, D., Peterson, G.A. et Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium. Pages 225-246 *in* A.L. Page, ed. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2ième édition. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin.

Lamontagne, L. et Drolet, J.Y. 1992. Pédopaysages du Canada. Québec - Sud-Ouest. CRT Contr. No 89-02. Publication 5278/B. Direction générale de la recherche. Agriculture Canada. 9 pp. 1 carte.

Lamontagne, L. et Nolin, M.C. 1990. Étude pédologique du comté de Verchères (Québec). Vol. 1. Description et interprétation des unités cartographiques. 319 pp. Vol. 2. Description et classification des séries de sols. 130 pp. CRT Contr. No 87-92. Direction générale de la recherche. Agriculture Canada.

LaSalle, P. 1963. Géologie des dépôts meubles de la région de Verchères. Rich. Nat. Rapp. Prél. No 505. 9 pp. 1 carte.

Mathur, S.P. et Wang, C., eds. 1991. Qualité des sols dans le contexte canadien - 1988. Documents d'examen. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada. CRT Contr. No **89-12**. Ottawa, Ont. 73 pp.

McGill, W.B. et Figueiredo, C.T. 1993. Total Nitrogen. Pages 599-613 *in* M.R. Carter, ed. Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

McKeague, J.A., ed. 1977. Manuel de méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols. Comité canadien de pédologie. I.R.T. Agriculture Canada. Ottawa. 223 pp.

Moolman, J.H. et Van Huyssteen, L. 1989. A geostatistical analysis of the penetrometer soil strength of a deep ploughed soil. Soil Tillage Res. **15** : 11-24.

N'Dayegamiye, A. 1991. Comment maintenir l'équilibre biologique des sols. Agrosol 4(2): 16-20.

N'Dayegamiye, A., Angers, D.A. et Côté, D. 1991. Effets des systèmes de culture (monoculture et rotation) et du travail du sol sur l'évolution de l'activité biologique et de la matière organique du sol. Agrosol 4(2): 21-26.

Nolin, M.C., Lamontagne, L. et Martin, A. 1991. Esquisse géomorphologique du sud-est de la plaine de Montréal. Agrosol 4(2): 44-49.

Reynolds, W.D. 1993. Saturated hydraulic conductivity: field measurement. Pages 599-613 *in* M.R. Carter, ed. Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

Ross, G.J. et Wang, C. 1993. Extractable Al, Fe, Mn and Si. Pages 239-246 *in* M.R. Carter, ed. Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

Sheldrick, B.H., ed. 1984. Analytical methods manual 1984. LRRI contribution no. 84-30. Research Branch, Agriculture Canada. Ottawa, ON.

Sokal, R.R. et Rohlf, F.J. 1981. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. 2ième édition. W.H. Freeman and company. San Francisco, CA. 889 pp.

Sparrow, S.O. 1984. Nos sols dégradés: le Canada compromet son avenir. Comité sénatorial permanent de l'agriculture, des pêches et des forêts. Ottawa. 143 pp.

Star Quality Samplers. 1990. Centre Cone Penetrometer. Use and interpretation information. Edmonton. Alberta. 7 pp.

Tabi, M., Tardif, L., Carrier, D., Laflamme, G. et Rompré, M. 1990a. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Rapport synthèse. Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agro-alimentaire. MAPA. Publ. No **90-130156**. 71 pp.

Tabi, M., Tardif, L., Carrier, D., Laflamme, G. et Rompré, M. 1990b. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Région agricole 6. Richelieu Saint-Hyacinthe. Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agro-alimentaire. MAPA. Publ. No **91-0025**. 119 pp.

Topp, G.C., Galganov, Y.T., Ball, B.C. et Carter, M.R. 1993. Soil water desorption curves. Pages 569-579 *in* M.R. Carter, ed. Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

Trangmar, B.B., Yost, R.S. et Uehara, G. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Adv. Agron. **38** : 45-94.

Vauclin, M. 1982. Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol. Pages 9-43 *in* G. Monnier, ed. Variabilité spatiale des processus de transfert dans les sols. Colloque INRA, No 15.

Veer, C. et Wang, C. 1992. Cleaning soil profiles with a forced-air jet and describing soil morphological features. Can. J. Soil Sci. **72**: 295-298.

Wang, C., Coote, D.R. et Acton, D.F. 1991. Proposition d'un système de classification de la qualité des sols minéraux pour les terres arables. Pages 62-73 *in* S.P. Mathur et C. Wang, eds. Qualité des sols dans le contexte canadien - 1988. Documents d'examen. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada. CRT Contr. No **89-12**. Ottawa.

Wang, C., Nolin, M.C. et Wu, J. 1994. Microrelief and spatial variability of some selected soil properties on an agricultural benchmark site in Quebec, Canada. Proceedings of 2nd International Conference on site-specific management for agricultural systems. Minneapolis, MN. (sous presse).

Webster, R. 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field. Adv. Soil Sci. **3** : 1-70.

Webster, R. et Olivier, M.A. 1990. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford University Press. New York. 316 pp.

APPENDICE

DONNÉES CLIMATIQUES DE LA STATION MÉTÉOROLOGIQUE DE VERCHÈRES

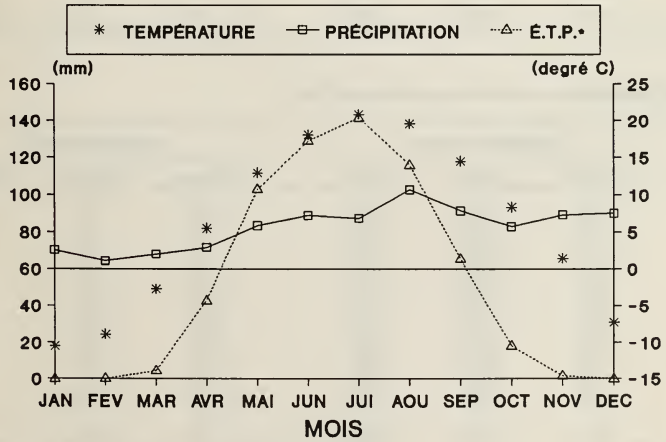
Localisation de la station météorologique de Verchères (établie en 1963):

Numéro:	7028700	Altitude:	15 m au-dessus du niveau de la mer
Longitude O:	73°22'	Distance:	19 km du site 17-QU
Latitude N:	45°47'		15 km du site 18-QU

Température et précipitation mensuelle moyenne pour la période de 1963-1991:

Mois	Précipitation (mm)			Température (°C)		
	Totale	Pluie	Neige	Moyenne	Maximale	Minimale
Janvier	70,2	16,4	53,8	- 10,5	- 6,0	- 15,0
Février	64,2	17,2	46,9	- 8,9	- 4,4	- 13,5
Mars	68,0	37,0	31,0	- 2,8	1,7	- 7,3
Avril	71,6	65,8	5,8	5,5	10,5	0,5
Mai	83,4	83,3	0,1	12,9	18,6	7,1
Juin	88,9	88,9	0,0	18,0	23,6	12,4
Juillet	87,3	87,3	0,0	20,8	26,4	15,1
Août	102,5	102,5	0,0	19,5	24,8	14,1
Septembre	91,3	91,3	0,0	14,4	19,6	9,2
Octobre	82,9	82,6	0,3	8,3	12,8	3,8
Novembre	89,3	70,5	18,8	1,4	5,0	- 2,1
Décembre	90,1	32,1	58,0	- 7,3	- 3,2	- 11,4
Total	989,7	774,9	214,7	6,0	10,9	1,1

Représentation graphique de la variation mensuelle moyenne de la température, des précipitations et de l'évapo-transpiration pour la période de 1963-1991:



* É.T.P. Évapo-transpiration potentielle

Température et précipitation mensuelle moyenne pour 1989:

Mois	Précipitation (mm)			Température (°C)		
	Totale	Pluie	Neige	Moyenne	Maximale	Minimale
Janvier	49,2	4,2	45,0	- 8,3	- 2,9	- 13,6
Février	28,8	3,2	25,6	- 9,4	- 4,8	- 14,1
Mars	76,2	27,4	48,8	- 5,0	- 0,2	- 9,8
Avril	50,2	50,2	0,0	4,4	9,4	- 0,5
Mai	103,6	103,6	0,0	14,1	19,4	8,8
Juin	105,8	105,8	0,0	18,4	23,9	12,9
Juillet	33,0	33,0	0,0	21,4	27,5	15,3
Août	71,4	71,4	0,0	20,0	25,5	14,5
Septembre	77,2	77,2	0,0	15,5	20,7	10,3
Octobre	121,0	121,0	0,0	8,9	13,6	4,2
Novembre	182,2	137,2	45,0	- 0,5	3,3	- 4,3
Décembre	93,0	9,0	84,0	- 15,8	- 11,3	- 20,2
Total	991,6	743,2	248,4	5,4	10,4	0,4

Température et précipitation mensuelle moyenne pour 1990:

Mois	Précipitation (mm)			Température (°C)		
	Totale	Pluie	Neige	Moyenne	Maximale	Minimale
Janvier	106,6	28,6	78,0	- 4,4	- 0,4	- 8,4
Février	74,6	17,6	57,0	- 7,5	- 2,8	- 12,2
Mars	38,2	28,2	10,0	- 1,9	2,4	- 6,1
Avril	75,8	67,8	8,0	6,3	10,7	1,9
Mai	69,4	69,4	0,0	11,6	17,2	6,0
Juin	142,6	142,6	0,0	17,9	22,7	13,0
Juillet	88,1	88,1	0,0	20,8	26,1	15,6
Août	111,6	111,6	0,0	20,2	25,8	14,7
Septembre	100,6	100,6	0,0	14,0	18,7	9,3
Octobre	129,2	129,2	0,0	8,2	12,3	4,1
Novembre	65,8	63,8	2,0	2,0	5,9	- 1,9
Décembre	115,5	82,0	33,5	- 4,5	- 0,5	- 8,5
Total	1118,0	929,5	188,5	7,0	11,6	2,4

Température et précipitation mensuelle moyenne pour 1991:

Mois	Précipitation (mm)			Température (°C)		
	Totale	Pluie	Neige	Moyenne	Maximale	Minimale
Janvier	78,0	0,0	78,0	- 10,0	- 5,4	- 14,6
Février	55,0	21,0	34,0	- 5,8	- 1,4	- 10,2
Mars	87,2	50,2	37,0	- 0,9	2,7	- 4,6
Avril	102,6	102,6	0,0	7,1	11,8	2,5
Mai	98,0	98,0	0,0	14,6	20,7	8,5
Juin	72,0	72,0	0,0	19,6	25,1	14,1
Juillet	73,2	73,2	0,0	21,0	27,0	15,1
Août	133,2	133,2	0,0	20,7	25,7	15,8
Septembre	76,4	76,4	0,0	13,5	18,5	8,4
Octobre	102,8	102,8	0,0	9,7	14,0	5,3
Novembre	20,8	20,8	0,0	2,4	5,9	- 1,1
Décembre	89,5	28,5	61,0	- 7,4	- 3,3	- 11,4
Total	988,7	778,7	210,0	7,1	11,8	2,4

CANADIAN AGRICULTURE LIBRARY
BIBLIOTHÈQUE CANADIENNE DE L'AGRICULTURE
3 9073 00123088 9